



*Federação das Indústrias do Estado da Bahia*

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Elétrica

### Trabalho de Conclusão do Curso

## Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão

Apresentada por:

Luciana Moreno Borges  
Felipe Cafezeiro Plech

Orientador:

Prof. Marco Reis, M.Eng.

Novembro de 2018

Luciana Moreno Borges  
Felipe Cafezeiro Plech

## **Percepção e suas funcionalidades para robô de inspeção em linhas de alta tensão**

Trabalho de Conclusão do Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia**.

Área de conhecimento: Interdisciplinar

Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador  
Centro Universitário SENAI CIMATEC  
2018

---

## Resumo

---

A manutenção de linhas de alta tensão além de ser uma atividade de alto custo é uma prática de alto risco a integridade física do operador. De modo a substituir o trabalho humano em atividades de risco, soluções em robótica estão cada vez mais frequentes por conta da confiabilidade empregada. O Electrical Inspection Robot (ELIR) é um robô para inspeção em linhas de alta tensão através inspeção térmica, o seu sistema de Percepção conta com uma série de sensores e é capaz de disponibilizar ao usuário final todas as ocorrências realizadas durante a missão bem como data, horário e localização. Este trabalho de conclusão de curso descreve a metodologia, conceitos e resultados obtidos durante o desenvolvimento do sistema de percepção do ELIR, o trabalho conta com a participação de estudantes de graduação e doutorado da instituição a fim de promover pesquisa e desenvolvimento na área de robótica.

**Palavras-chave:** Linhas de transmissão, Inspeção, Robótica, Pontos quentes

---

## Abstract

---

The maintenance of high voltage lines is a high-cost and dangerous activity for the employee's physical integrity. To replace human performance in risky activities, many robotic solutions are being implemented because of the reliability involved. The Electrical Inspection Robot (ELIR) is a high voltage line inspection robot using thermal imaging, its sensing system has several sensors and is capable of displaying all occurrences detected during the mission and informing the date, time and location of each one. This final course project describes the methodology, concepts and the results obtained during the perception system development. This report counts with undergraduate and doctorate students with the goal to promote development and research on robotics area.

**Keywords:** Electrical Lines, Inspection, Robotics, Hot Spots

---

# Sumário

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	1
1.1.1	Objetivos Específicos . . . . .	1
1.2	Justificativa . . . . .	1
1.3	Requisitos do cliente . . . . .	1
1.4	Organização do Trabalho de Conclusão do Curso . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Conceito do Sistema</b>	<b>3</b>
2.0.1	Arquitetura de software do sistema de Percepção . . . . .	4
2.0.1.1	Driver Layer . . . . .	4
2.0.1.2	Business Layer . . . . .	5
2.0.1.3	User Interface Layer . . . . .	6
2.1	Especificação técnica do sistema de Percepção . . . . .	6
2.2	Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>8</b>
3.1	Conceitual e Design . . . . .	8
3.1.1	Requisitos técnicos . . . . .	8
3.1.2	Lista de materiais . . . . .	9
3.1.2.1	Descrição dos componentes . . . . .	9
3.1.3	Funcionalidades do Sistema . . . . .	11
3.1.3.1	Aquisição . . . . .	11
3.1.3.2	Objetivo . . . . .	13
3.1.3.3	Dependências . . . . .	13
3.1.3.4	Premissas . . . . .	13
3.1.3.5	Saídas . . . . .	14
3.1.3.6	Localização . . . . .	14
3.1.3.7	Objetivo . . . . .	15
3.1.3.8	Dependências . . . . .	15
3.1.3.9	Premissas . . . . .	15
3.1.3.10	Saídas . . . . .	15
3.1.3.11	Detecção . . . . .	15
3.1.3.12	Objetivo . . . . .	16
3.1.3.13	Dependências . . . . .	16
3.1.3.14	Premissas . . . . .	16
3.1.3.15	Saídas . . . . .	17
3.2	Desenvolvimento . . . . .	17
3.2.1	Testes Unitários . . . . .	17
3.2.2	Integração dos sensores com ROS . . . . .	22
3.2.3	Interface do Usuário . . . . .	25
3.3	Testes . . . . .	25
3.4	Diagramas mecânicos . . . . .	26
3.5	Suporte dos sensores . . . . .	26
3.6	Modelo esquemático de alimentação e comunicação . . . . .	27
3.7	Diagramas elétricos e eletrônicos . . . . .	27

<b>4 Resultados</b>	<b>29</b>
4.1 Testes unitários . . . . .	29
4.1.1 Câmera Térmica . . . . .	29
4.1.2 Sonar EZ-1 . . . . .	30
4.1.3 Sensor de Proximidade . . . . .	31
4.1.4 <i>Smart Charger</i> . . . . .	32
4.1.5 Sensor de Temperatura . . . . .	33
4.1.6 GPS . . . . .	33
4.1.7 IMU . . . . .	34
4.2 Integração no ROS . . . . .	34
4.2.1 Phidgets . . . . .	34
4.2.2 Smart Charger . . . . .	35
4.2.3 Câmera Térmica . . . . .	35
4.2.4 GPS . . . . .	37
4.2.5 IMU . . . . .	37
4.3 Testes integrados . . . . .	37
4.4 Trabalhos futuros . . . . .	37
<b>5 Conclusão</b>	<b>38</b>
5.1 Considerações finais . . . . .	38
<b>A QFD</b>	<b>39</b>
<b>B Diagramas mecânicos</b>	<b>44</b>
<b>C Diagramas eletro-eletrônicos</b>	<b>59</b>
<b>D Wireframes</b>	<b>71</b>
<b>E Logbook</b>	<b>73</b>
<b>F Lista de componentes</b>	<b>74</b>

---

## **Lista de Tabelas**

---

---

## Lista de Figuras

---

2.1	Arquitetura Geral da Perception . . . . .	4
2.2	Arquitetura Geral da Perception . . . . .	5
3.1	Fluxograma do Projeto . . . . .	8
3.2	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR . . . . .	10
3.3	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição . . . . .	12
3.4	Nível de criticidade dos sensores . . . . .	13
3.5	Fluxograma da Funcionalidade Localização . . . . .	14
3.6	Fluxograma da Funcionalidade Detecção . . . . .	16
3.7	Lepton LWIR . . . . .	17
3.8	Mensagem do frame da câmera . . . . .	18
3.9	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica . . . . .	18
3.10	Sonar EZ-1 . . . . .	19
3.11	Sensor de proximidade E18-D80NK . . . . .	20
3.12	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias . . . . .	20
3.13	Sensor de Temperatura LM35 . . . . .	21
3.14	GPS Piksi v2.3.1 . . . . .	21
3.15	IMU Xsens Mtí-1 . . . . .	22
3.16	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias . . . . .	23
3.17	Esquemático do processamento da imagem . . . . .	24
3.18	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos . . . . .	26
3.19	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação . . . . .	27
4.1	Lepton LWIR . . . . .	29
4.2	Mensagem do frame da câmera . . . . .	29
4.3	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica . . . . .	30
4.4	Sonar EZ-1 . . . . .	31
4.5	Sensor de proximidade E18-D80NK . . . . .	32
4.6	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias . . . . .	32
4.7	Sensor de Temperatura LM35 . . . . .	33
4.8	GPS Piksi v2.3.1 . . . . .	33
4.9	IMU Xsens Mtí-1 . . . . .	34
4.10	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias . . . . .	35
4.11	Esquemático do processamento da imagem . . . . .	36
C.1	Esquemático Geral . . . . .	60
C.2	Esquemático - Smart Charger . . . . .	61
C.3	Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia . . . . .	62
C.4	Esquemático - NUC . . . . .	63
C.5	Esquemático - Phidgets . . . . .	64
C.6	Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera . . . . .	65
C.7	Esquemático - ZED Camera . . . . .	66
C.8	Esquemático - HUB dos Atuadores 1 . . . . .	67
C.9	Esquemático - HUB dos Atuadores 2 . . . . .	68
C.10	Esquemático - HUB dos Atuadores 3 . . . . .	69

C.11 Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade . . . . .	70
D.1 Dashboard - Main page . . . . .	71
D.2 Dashboard - Actuators Info Page . . . . .	72

---

## Introdução

---

### 1.1 *Objetivos*

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o sistema de percepção para um robô de inspeção de linhas de transmissão ELIR (Electrical Line Inspection Robot).

#### 1.1.1 *Objetivos Específicos*

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Detectar pontos quentes nas linhas de transmissão;
- Desenvolver o sistema georeferenciamento do robô;
- Elaborar o sistema de segurança do robô (Análise de temperatura, consumo e Capacidade da Bateria);
- Construir interface de comunicação com o usuário para apresentar as informações de segurança do robô, informação dos atuadores e todas as ocorrências da missão.

### 1.2 *Justificativa*

### 1.3 *Requisitos do cliente*

O desenvolvimento do sistema de percepção para o robô ELIR teve como fundamento os requisitos técnicos proposto pelo cliente do projeto. Os requisitos estão apresentados detalhadamente nos tópicos a seguir.

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção

- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidos pelo GPS.
- **Disponibilizar os vídeos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetos até sete metros abaixo do robô
- **Monitorar temperatura do protótipo:** A temperatura da parte interna do protótipo deve ser monitorada para garantir a segurança dos equipamentos eletrônicos presentes.

## **1.4 Organização do Trabalho de Conclusão do Curso**

Este documento apresenta 5 (cinco) capítulos e está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Contextualiza o âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta, portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa e como este trabalho de conclusão do curso está estruturado;
- **Capítulo 2 - Conceito do Sistema:** Descreve como o sistema de Percepção é composto, apresenta a especificação técnica, a arquitetura geral do sistema, a arquitetura de software e os requisitos técnicos;
- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Apresenta os materiais utilizados no projeto, explica os suportes mecânicos criados, o diagrama elétrico e o desenho da placa desenvolvida, além das especificações de cada funcionalidade do sistema;
- **Capítulo 4 - Resultados:** Apresenta a descrição dos testes unitários e integrados realizados;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

---

## Conceito do Sistema

---

Para um robô, o ambiente é um mar de ambiguidades, no qual ele vai afundar ou nadar a depender da robustez de sua percepção.

(??)

A percepção é, de acordo com o dicionário ??), a capacidade de distinguir por meio dos sentidos ou da mente.

Segundo ??), este é o ponto fraco mais comuns em robôs pois para garantir sua segurança e confiabilidade é necessário que o mesmo tenha a capacidade de interpretar as variáveis ambientais. A percepção é o que torna os robôs diferentes de simples mecanismos, pois é ela quem dá a habilidade de adequar suas operações de acordo com as influências externas.

A percepção do ELIR pode ser definida como um sistema integrado de sensoriamento e com unidades de processamento, em que seus dados serão utilizados como parâmetros de tomada de decisão e disponibilizados durante a operação de inspeção ao operador.

O sistema foi projetado de forma a possuir três subsistemas principais: segurança, georreferenciamento e detecção. A descrição de cada um dos subsistemas e suas funcionalidades serão mostradas nas próximas sessões.

A Percepção é o sistema de sensoriamento do robô e pode ser entendida como a forma que ele comprehende o que esta ao seu redor. No projeto do robô ELIR, o sistema de percepção engloba a aquisição e a interpretação dos dados de todos os sensores envolvidos.

Na arquitetura geral deste sistema, mostrado na Fig. 2.1, estão representados as três camadas principais: *Sensing*, *Interface* e *ROS Environment*.

A etapa de *Sensing* é composta por todos os processos de aquisição de dados de todos os sensores envolvidos no projeto. A camada de interface comprehende a disponibilização destes dados para o ambiente de trabalho ROS. Essas duas etapas são camadas de *hardware*. Por último, terá a camada de *software*, a qual será feita no *ROS Environment*, e que irá englobar todo o sistema de compreensão e interpretação dos dados provenientes do sistema de interfaceamento do robô.

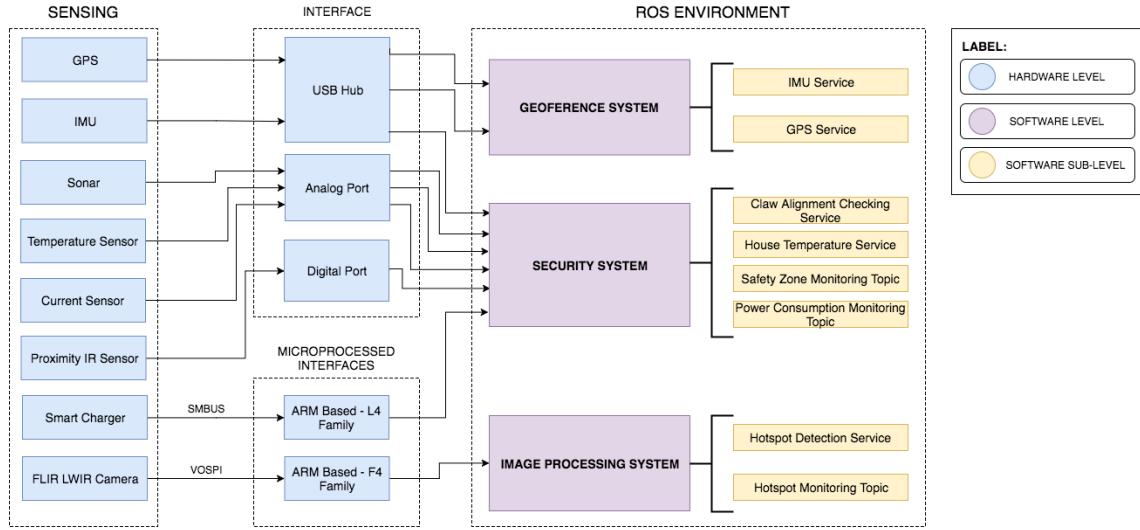


Figura 2.1: Arquitetura Geral da Perception

### 2.0.1 Arquitetura de software do sistema de Percepção

A arquitetura de software foi projetada em três camadas a fim de facilitar o desenvolvimento do sistema e simplificar o entendimento do mesmo. As camadas são:

- *User Interface Layer*
- *Business Layer*
- *Driver Layer*

As camadas e seus componentes podem ser vistos na Fig.2.2.

#### 2.0.1.1 Driver Layer

A camada de *Driver Layer* está diretamente relacionada a funcionalidade de aquisição de dados. Ela composta pelo *hardware*, representado pelos sensores e seus respectivos drivers de comunicação. Desta forma, as subcamadas são nomeadas com o processo de aquisição de dados de cada sensor envolvido no projeto.

As subcamadas *Current Data Acquisition*, *Temperatura Data Acquisition*, *Proximity Data Acquisition* e *Sonar Data Acquisition* são responsáveis por adquirir as informações analógicas de seus sensores e transformá-los em dados da grandeza física a ser medida. Todas estas subcamadas utilizam a placa de interfaceamento Phidgets para o estabelecer de comunicação entre o computador (NUC) e os sensores.

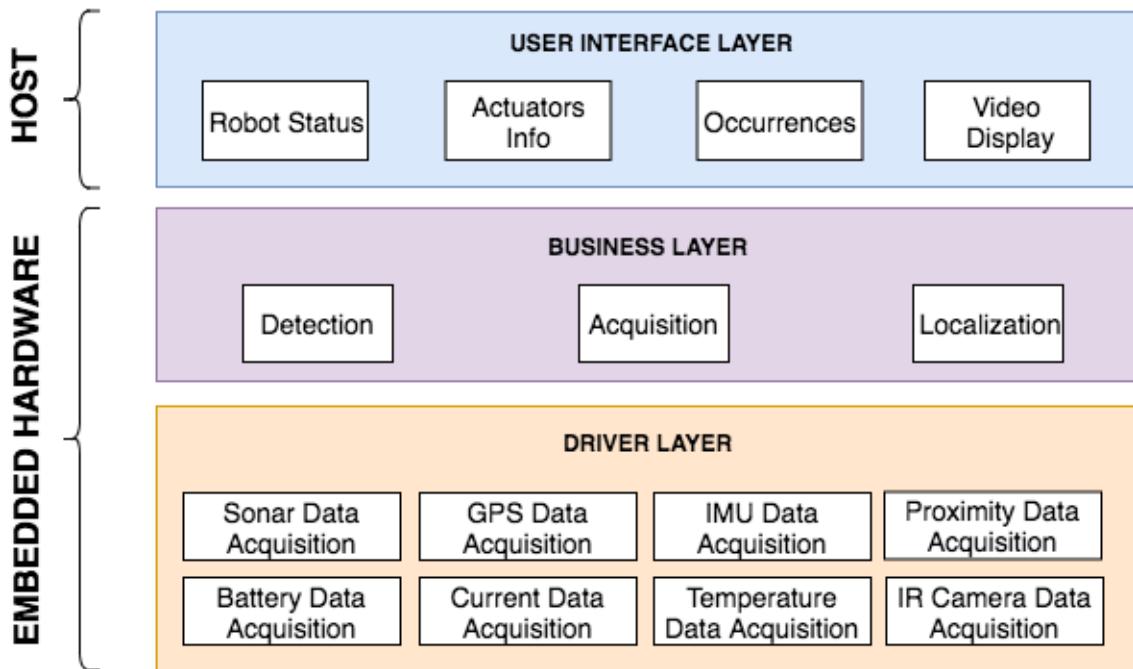


Figura 2.2: Arquitetura Geral da Perception

As subcamadas *IMU Data Acquisition* e *GPS Data Acquisition* são responsáveis pelo recebimento de dados da IMU e do GPS seguindo o protocolo de comunicação do fabricante. Esses dois módulos estão conectados ao *hub* USB da placa de interfaceamento Phidgets.

A subcamada de *IR Camera Data Acquisition* é responsável pela aquisição de dados da câmera térmica, a qual se comunica via VoSPI (Video over SPI) com um microcontrolador de arquitetura ARM (STM32F401RE) e converte os dados para USB e os envia à NUC.

Por último, a subcamada de *Battery Data Acquisition* é responsável pelo estabelecimento da comunicação e coleta de informações com o *Smart Charger* de bateria utilizando protocolo SMBus.

As conexões e diagramas elétricos podem ser vistos no apêndice C.

### 2.0.1.2 Business Layer

A camada *business layer* é responsável por implementar a regra de negócio do sistema. As funcionalidades do sistema são representadas como sub-camadas da business

layer, pois são elas responsáveis pelo processamento e coordenação dos dados adquiridos pela camada de aquisição.

### 2.0.1.3 User Interface Layer

A camada de *User Interface* foi projetada para disponibilizar os dados para o operador. Nela será mostrado de forma resumida os dados mais relevantes do robô e da operação. Nesta camada existem três subcamadas: *Robot Status Display*, *Actuators Display* e *Video Display*.

A subcamada *Robot Status Display* disponibiliza os dados de integridade do robô como temperatura, corrente, tensão, nível de bateria, entre outras informações. A subcamada de *Actuators Display* disponibiliza o dados de todos os motores do robô, como carga, temperatura, status e corrente. Por último, a subcamada de *Video Display* mostra em tempo real o monitoramento realizado pela câmera térmica, possibilitando o usuário ver os componentes da linha que estão com temperatura elevada e até mesmo identificar pontos quentes.

A interface irá se resumir em duas telas: A tela principal com um layout de *dashboard*, e outra que terá as informações dos atuadores. O *dashboard* será um painel de monitoramento, no qual haverá as informações mais importantes da missão, como pode ser visto na apêndice D.1. Essa tela irá mostrar as informações de integridade do robô, ocorrências e a imagem térmica. A tela dos atuadores irá mostrar de forma organizada, as informações já mencionadas, além da corrente total de cada *hub* de motores. Pode-se observar a tela de atuadores na Figura 4.6 no apêndice D.

## 2.1 Especificação técnica do sistema de Percepção

A construção do sistema de Percepção teve como base os requisitos técnicos do cliente. As especificações podem ser observadas abaixo:

- O sistema foi projetado para trabalhar com alimentação de 14V proveniente de baterias LiPo.
- A máxima temperatura de trabalho na *housing* é de 50 graus Celsius.
- O sistema consegue detectar objetos através do sonar em uma faixa de servidão de 6.45 metros.

- A obtenção de *frames* da câmera IR acontece na taxa de 1 frame a cada dois segundos.
- Em condições de sobretemperatura ou sobrecorrente o sistema alertará o operador.
- O sistema não é protegido contra ingresso de água

## ***2.2 Desdobramento da função qualidade para as funcionalidades***

## Materiais e Métodos

A metodologia de execução e gerenciamento aplicada no projeto ELIR é baseada na metodologia empregada na área de robótica do SENAI CIMATEC. O projeto foi dividido em três fases principais para facilitar a organização e gerenciamento das atividades. O diagrama com as fases do projeto está mostrado na Figura 3.1.



Figura 3.1: Fluxograma do Projeto

### 3.1 Conceitual e Design

A fase de Conceitual e Design é marcada por uma série de reuniões de alinhamento com o orientador do projeto e cliente, a fim de definir os requisitos técnicos do projeto, os materiais a serem utilizados, as funcionalidades do sistema, a arquitetura geral da Percepção e a arquitetura de software empregada. Esta é a etapa de criação do conceito tecnológico além de organização e planejamento das atividades.

#### 3.1.1 Requisitos técnicos

Os requisitos técnicos do projeto foram definidos nas primeiras reuniões com o orientador do projeto. Estes requisitos foram elaborados com base nos requisitos do cliente e estão mostrados abaixo:

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção
- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidas pelo GPS.
- **Disponibilizar os videos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetos até sete metros abaixo do robô
- **Monitorar temperatura do protótipo:** A temperatura da parte interna do protótipo deve ser monitorada para garantir a segurança dos equipamentos eletrônicos presentes.

### 3.1.2 *Lista de materiais*

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados. Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 3.2. Os preços mostrados não refletem o custo do projeto uma vez que os materiais utilizados são pertencentes ao SENAI CIMATEC. Os valores mostrados são preços médios do produto encontrados na página dos fornecedores.

#### 3.1.2.1 *Descrição dos componentes*

A Phidgets é uma placa de interface que concentra os dados provenientes de suas portas digitais, analógicas e USBs em uma única porta USB. Ela atua como um hub

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrasonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
							Total:	R\$ 15.985,52

Figura 3.2: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

concentrando todas as informações em um único local . No ELIR a placa é utilizada para concentrar as informações do sonar, sensores de proximidade, baterias, GPS e IMU em uma única porta USB a ser conectada na unidade central de processamento. A sua utilização é importante por conta da limitação de portas USBs na unidade de processamento central.

As placas Nucleo STM32F401RE e Nucleo STM32L432 são placas de desenvolvimento para aplicações utilizando o microprocessador ARM. No ELIR a placa Nucleo STM32F401RE é utilizada para converter os dados provenientes da câmera térmica em protocolo SPI para o protocolo USB. A família F4 foi utilizada pois pode atingir clocks de 20GHz, é necessário um microprocessador que consiga atingir esta faixa de clock para ter sincronia com o módulo da câmera. A placa possui um canal de comunicação exclusivo com a unidade central de processamento.

Já a placa Nucleo STM32L432 é utilizada para conversão das informações provenientes das baterias em protocolo SMBus para o protocolo USB. Esta placa é conectada a uma porta USB da Phidgets. Para a execução desta atividade não é necessário um microprocessador de alto desempenho e por isso a família L4 foi escolhida por ter baixo consumo de energia.

O sensor E18D80-NK é um sensor de proximidade infravermelho, ele é utilizado no ELIR para identificar se as garras do robô estão apoiadas na linha de transmissão. A saída do sensor é digital e o estado do pino de dados indica a presença ou ausência de um objeto. Foi realizada uma pesquisa dos sensores de proximidade no mercado e este sensor foi escolhido por ser de baixo custo, compacto e pode ser utilizado em superfícies metálicas.

O sensor EZ1 da MaxBotix é um sonar. Ele é utilizado no projeto para monitorar objetos dentro da faixa de servidão. Foi utilizado o EZ1 por ele cumprir com os requisitos do cliente do alcance da área de servidão.

O sensor de temperatura LM35 é utilizado no projeto para medição da temperatura na estrutura interna do robô. Ele foi escolhido por ter resposta linear e ser de baixo custo.

O GPS SwiftNav Piksi é utilizado no projeto para obter informações de latitude e longitude quando detectado alguma anormalidade. Enquanto a IMU Xsens Mt-1 é utilizada no projeto para obter informações dos ângulos de orientação do robô. Estes módulos são superdimensionados para a aplicação inicial do projeto, ainda assim os mesmos foram utilizados por terem disponibilidade na instituição e possuirem drivers para o ambiente ROS disponibilizados pelo fabricante.

As baterias NH2054 da Inspired Energy são células de 14V para alimentação do sistema de Percepção. Elas são baterias inteligentes que fornecem informações de temperatura, tensão, corrente e capacidade das células. Foram escolhidas pela quantidade de informações que podem fornecer.

A Power Management Board é uma placa de gerenciamento de energia do sistema robótico, ela distribui a tensão proveniente das baterias para todos os sensores.

A intel NUC 515RYK é a unidade de processamento central do sistema de Percepção, ela recebe as informações de todos os sensores do sistema de Percepção e os interpreta.

### *3.1.3 Funcionalidades do Sistema*

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

#### *3.1.3.1 Aquisição*

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS. Para os dispositivos relacionados à localização como o GPS e a IMU, serão utilizados drivers já disponibilizados pelos fabricantes.

No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da *Smart Charger* e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Figura

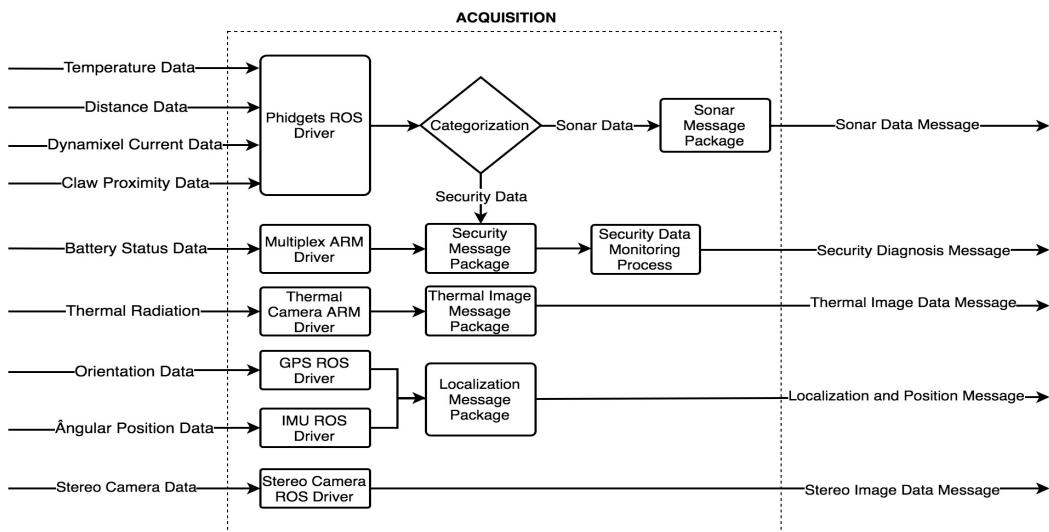


Figura 3.3: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô,

porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>FLIR LWIR Thermal Camera</b></li> <li>• <b>Claw proximity sensors</b></li> </ul>
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>EZ-1 Sonar</b></li> <li>• <b>GPS</b></li> <li>• <b>IMU</b></li> </ul>
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperature Sensor - LM35</b></li> <li>• <b>Multiplex Board</b></li> <li>• <b>Current Sensors</b></li> </ul>

Figura 3.4: Nível de criticidade dos sensores

### 3.1.3.2 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

### 3.1.3.3 Dependências

Esta funcionalidade não depende de nenhum outro processo.

### 3.1.3.4 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve está conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets

- Os sensores de proximidade devem estar conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets
- As placas de interface devem estar energizadas.

### 3.1.3.5 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- *Sonar Data Message*: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- *Secutiry Diagnose Message*: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- *Thermal Image Data Message*: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- *Localization and Position Message*: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

### 3.1.3.6 Localização

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 3.5

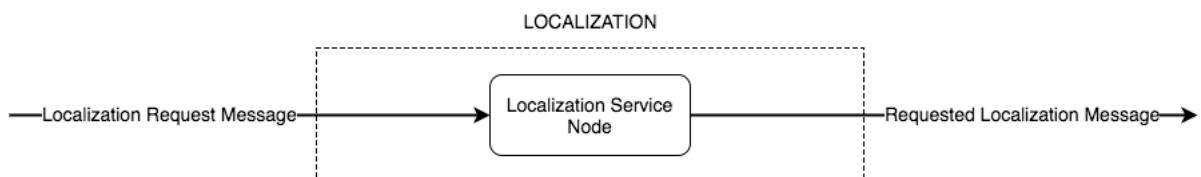


Figura 3.5: Fluxograma da Funcionalidade Localização

### 3.1.3.7 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

### 3.1.3.8 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

### 3.1.3.9 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

### 3.1.3.10 Saídas

- *Requested Localization Message*: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

### 3.1.3.11 Detecção

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

### 3.1.3.12 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área de servidão.

### 3.1.3.13 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

### 3.1.3.14 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

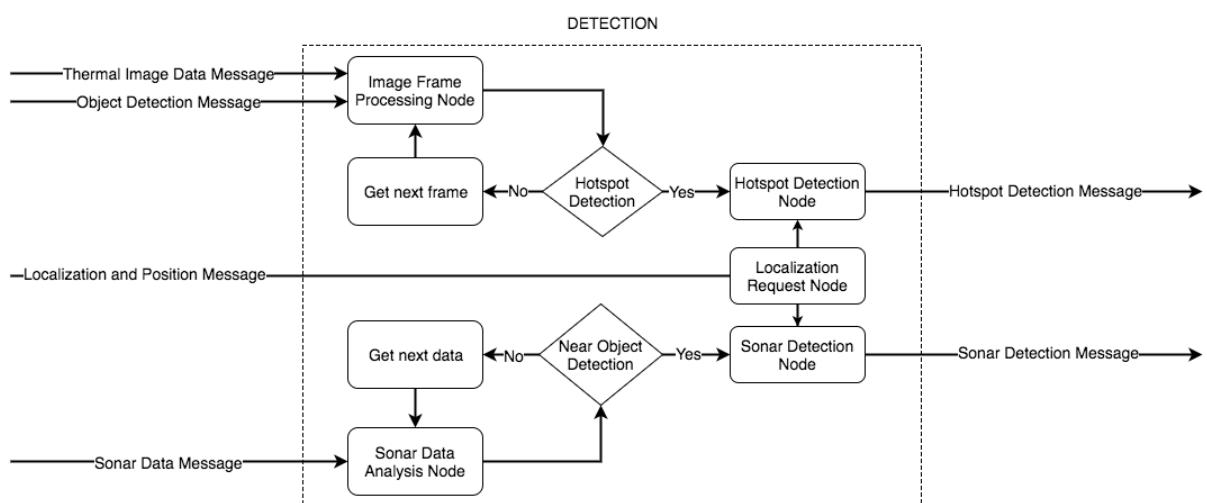


Figura 3.6: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

### 3.1.3.15 Saídas

- *Hotspot Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- *Sonar Detection Message*: Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

## 3.2 Desenvolvimento

Na fase de Desenvolvimento são realizados os testes unitários dos sensores do sistema de Percepção, a implementação de protocolos de comunicação, integração dos sensores no framework de robótica ROS e desenvolvimento da interface gráfica. O resultado principal desta fase é a conexão dos sensores em rede no framework de robótica e a interface gráfica exibindo em tempo real as informações mais relevantes do sistema de Percepção.

### 3.2.1 Testes Unitários

- Câmera Térmica

A câmera térmica Lepton, do fabricante FLIR, se comunica por VOSPI. Logo, foi necessário utilizar um driver para converter os dados da câmera e disponibilizá-los para a USB. Uma placa de desenvolvimento Nucleo STM32F401RE com o driver disponibilizado por ??) foi utilizada para essa situação.

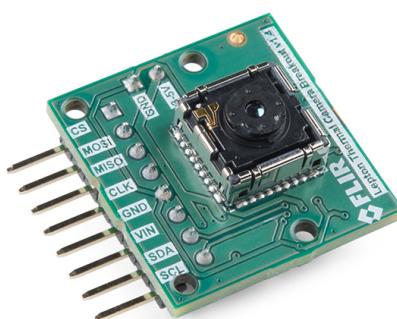


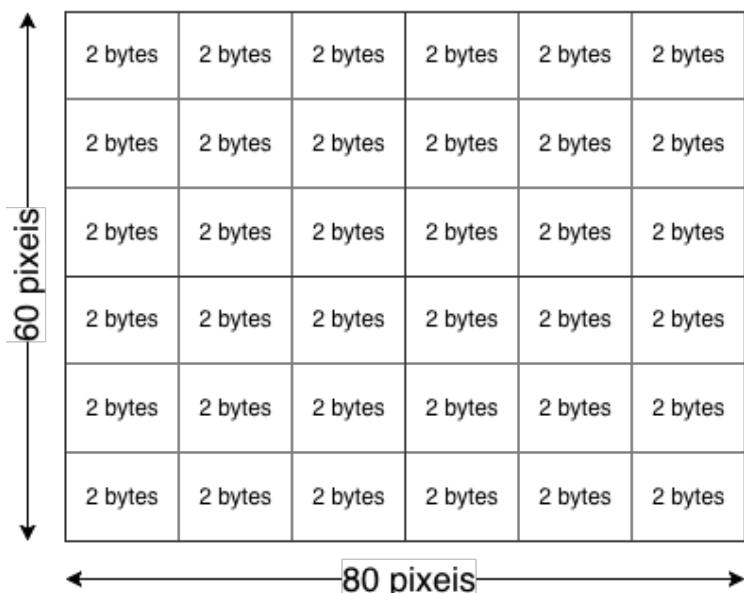
Figura 3.7: Lepton LWIR

O driver coleta os frames e verifica se o mesmo foi adquirido corretamente, após isso, envia para a USB seguindo o seguinte padrão de mensagem:



Figura 3.8: Mensagem do frame da câmera

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em python, inicia-se o processo de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.3, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

Figura 3.9: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel*, foi convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

Após isso a imagem foi reconstruída para verificar a integridade dos *frames*.

- Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.



Figura 3.10: Sonar EZ-1

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

Ao executar o código, recebe-se, no intervalo de dez segundos, todas as leituras de tensão efetuadas no sensor. Notamos que ao afastar o obstáculo do sonar o valor de tensão aumentava e quando aproximavamo o obstáculo o valor de tensão diminuía. Após feita a conversão de tensão para unidades métricas através das informações disponibilizadas no *datasheet*, foi possível validar o sensor.

- Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi



Figura 3.11: Sensor de proximidade E18-D80NK

para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

- *Smart Charger*

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

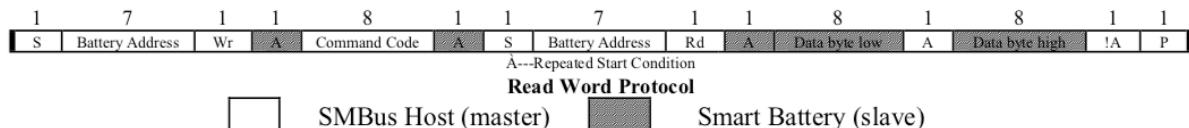


Figura 3.12: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibilizá-lo na USB do computador. Além disso, um *script* em python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

- Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de



Figura 3.13: Sensor de Temperatura LM35

dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

- GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.



Figura 3.14: GPS Piksi v2.3.1

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é bastante degradada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

- IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.



Figura 3.15: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

### 3.2.2 Integração dos sensores com ROS

Após os testes unitários de cada sensor, deu-se inicio à integração dos sensores no ambiente ROS para construção do sistema de Percepção. A descrição da metodologia empregada para embarcar cada um dos sensores no framework de robótica está mostrada nos tópicos abaixo.

- Phidgets

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

- Smart Charger

O script utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

W	R	R	R	R
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
<b>Fixed Header</b>	<b>Voltage</b>	<b>Temperature</b>	<b>Current</b>	<b>Capacity</b>

Figura 3.16: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS. O nó criado para a *smart charger* está mostrado no anexo XX.

- Câmera Térmica

A integração da câmera no ROS foi feita em duas etapas, que na prática foram representadas como dois nós:

- O primeiro com objetivo da aquisição dos dados da câmera e sua disponibilização em um tópico.
- O segundo nó é responsável por todo o tratamento da imagem e detecção dos pontos quentes.

Para a aquisição dos dados, no primeiro nó, foi utilizado basicamente o mesmo algoritmo que no teste unitário, porém com a integração das bibliotecas do ROS para publicar os *frames* em forma de *Numpy arrays* em seus devido tópico.

No segundo nó foi utilizado a biblioteca OpenCV para realizar o processamento da imagem. Primeiramente, o frame disponibilizado pelo nó de aquisição é adquirido subscrevendo do seu respectivo tópico. Para retirar o aspecto "pixelado" da imagem da câmera, devido a sua baixa resolução (80x60 pixels), foi necessário realizar uma interpolação cúbica para redimensionar a imagem para uma resolução de (400x300 pixels), obtendo assim uma imagem mais detalhada.

Com a imagem já redimensionada, é aplicado um filtro *blur* para eliminar altas frequências que podem interferir na binarização (*thresholding*) que será feita na imagem.

Após o filtro, o frame é binarizado com o objetivo de facilitar a identificação dos pontos quentes através de um algoritmo de busca de contornos.

O esquemático abaixo mostra simplificadamente o processo de tratamento da imagem.

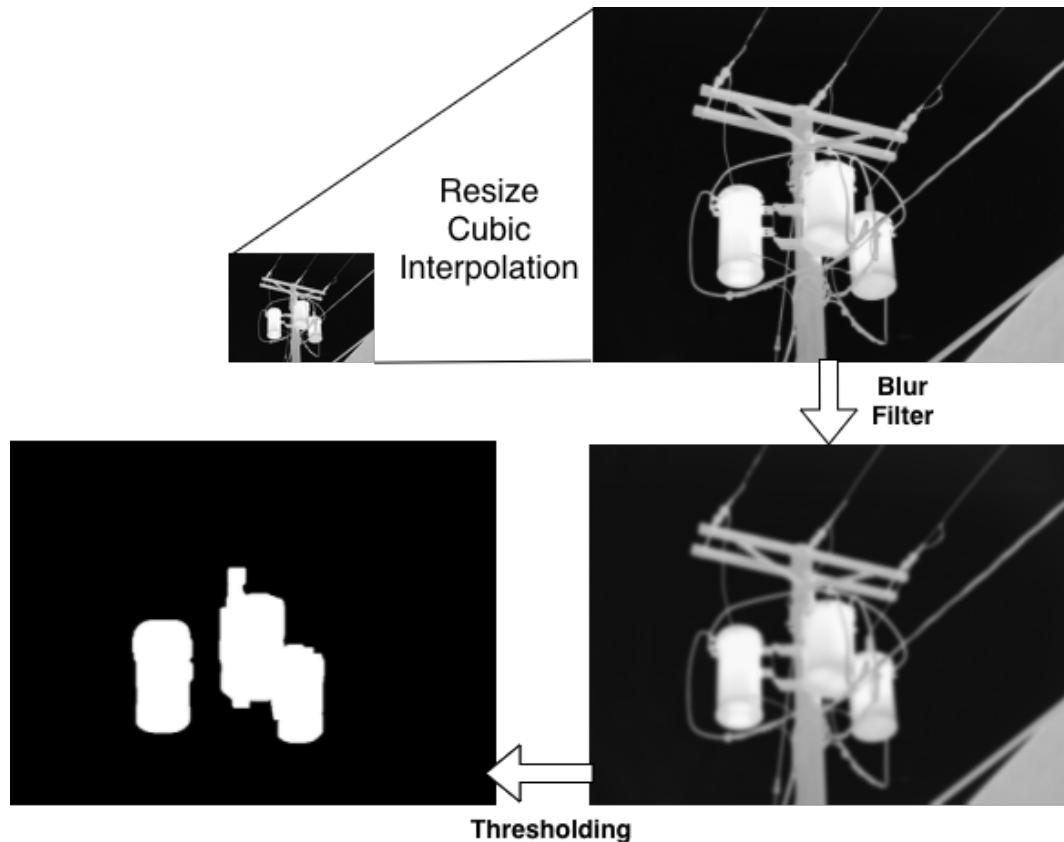


Figura 3.17: Esquemático do processamento da imagem

- GPS

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por ??) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

- IMU

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarcar a IMU no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

### 3.2.3 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- *System Integrity*
- *Robot Status*
- *Thermal view*
- *Ocurrences*
- *Actuators Information*

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Ocurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização gps.

## 3.3 Testes

Na fase de Testes as funcionalidades do sistema são colocadas a prova, para isso são efetuados testes de funcionamento com embasamento estatístico para comprovar que a funcionalidade está trabalhando da forma esperada. O resultado principal desta fase é um Logbook contendo o resultado de cada teste efetuado. A descrição dos testes efetuados e os resultados obtidos estão mostrados em detalhes no capítulo 4.

### 3.4 Diagramas mecânicos

O sistema de Percepção em robôs muitas vezes é entendida como uma implementação em código das funcionalidades do sistema, desconsiderando o aporte mecânico envolvido. Contudo, o suporte mecânico para os sensores é um grande desafio a ser solucionado.

Neste projeto, houve a necessidade de suportes mecânicos por conta da limitação de espaço além de haver uma restrição imposta pelo cliente na modificação estrutural no protótipo. A descrição dos suportes mecânicos desenvolvidos para confrontar esse problema esta mostrada na próxima sessão.

### 3.5 Suporte dos sensores

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira na qual é possível anexar a grande parte dos sensores do sistema de Percepção.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE que recebe os dados da câmera IR. Por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets para reunir os dados dos diferentes componentes e enviar para a NUC que é a unidade de processamento central do robô.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 3.18 e ?? .

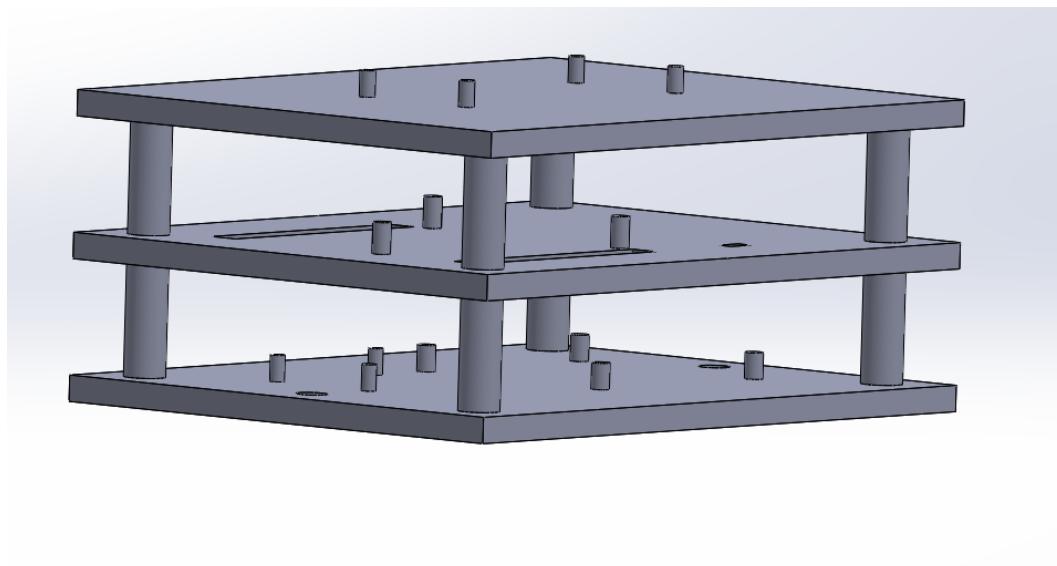


Figura 3.18: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

A parte de gerenciamento enérgico do robô foi alocada em uma estrutura na parte inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart*

*Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura 3.19.

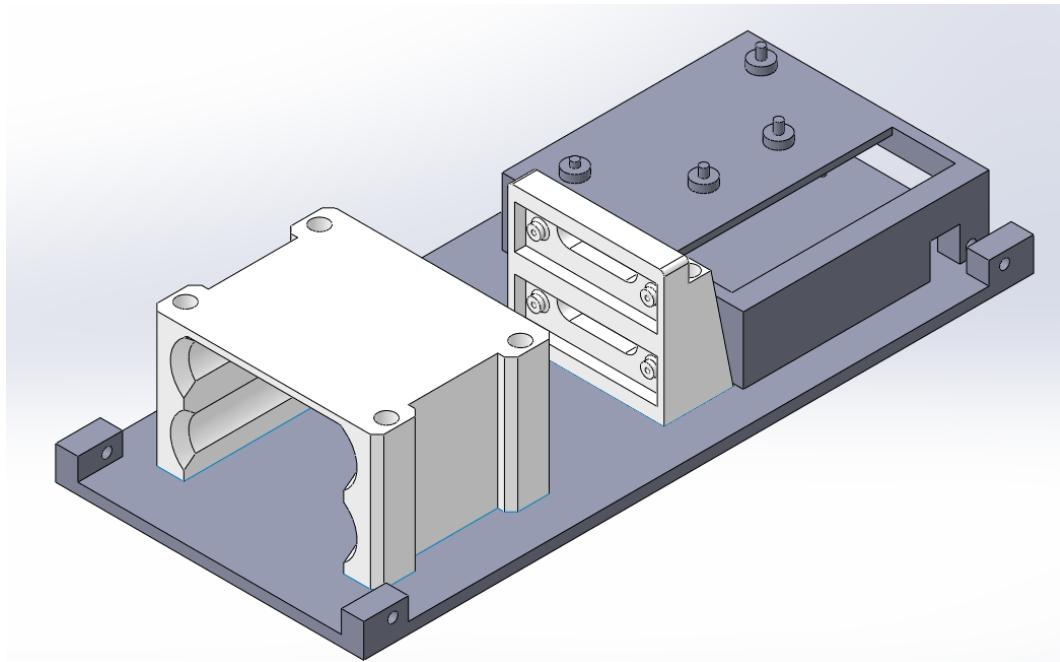


Figura 3.19: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

### 3.6 *Modelo esquemático de alimentação e comunicação*

A alimentação do sistema é proveniente de duas baterias LiPo que fornecem tensão de alimentação em 14V. Todo o gerenciamento de energia do sistema é feita pela *Power Management Board*, esta placa é responsável por distribuir a alimentação de entrada para os demais subsistemas da Percepção.

A placa de interface Phidgets além de funcionar como *hub* para uma grande parte dos sensores também é responsável por compatibilizar o nível de tensão para os componentes eletrônicos, fornecendo 5V para as placas microprocessadas, sensores e a alimentação de todas as portas USBs.

A comunicação entre os sistemas da Percepção ocorrem na maior parte através da Phidgets, já que esta placa de interface concentra as informações oriundas de suas portas USB, entrada digitais e entradas analógicas em uma única porta USB para a unidade central de processamento.

A câmera térmica e a os dynamixels possuem portas exclusivas de comunicação com a unidade central devido seu grau de criticidade.

### 3.7 *Diagramas elétricos e eletrônicos*

O diagrama elétrico do sistema está disponível no apêndice C. Neste diagrama encontram-se todas as conexões elétricas e de comunicação bem como as especi-

ficações de conectores e cabos utilizados no projeto.

O esquemático eletrônico realizado pela equipe foi uma placa hub de 5V para alimentação dos sensores de proximidade, visto que a Phidgets possui apenas umas saída de tensão em 5V disponibilizada.

Nesta placa foram colocados os *pin headers* para cada sensor de proximidade, fornecendo alimentação e disponibilizando os pinos digitais dos sensores em um conector Molex.

O esquemático eletrônico e *board* estão mostrados no anexo [C](#).

# Resultados

As funcionalidades do sistema de percepção foram validadas a partir de duas etapas de testes. Os testes unitários buscam a validação do funcionamento individual dos sensores, enquanto os testes integrados validam o funcionamento dos sistemas e funcionalidades, ou seja, todos os componentes em conjunto. A descrição dos testes realizados e dos resultados obtidos por eles está descrita abaixo.

Para mais detalhes sobre as conexões eletro-eletrônicas, pode-se ver o apêndice C.

## 4.1 Testes unitários

### 4.1.1 Câmera Térmica

A câmera térmica Lepton, do fabricante FLIR, se comunica por VOSPI. Logo, foi necessário utilizar um driver para converter os dados da câmera e disponibilizá-los para a USB. Uma placa de desenvolvimento Nucleo STM32F401RE com o driver disponibilizado por ???) foi utilizada para essa situação.

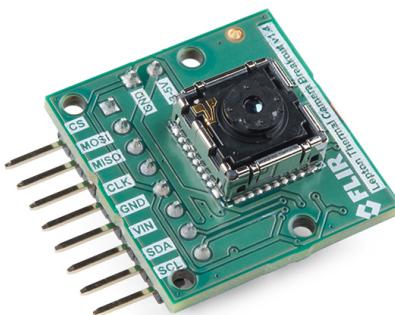


Figura 4.1: Lepton LWIR

O driver coleta os frames e verifica se o mesmo foi adquirido corretamente, após isso, envia para a USB seguindo o seguinte padrão de mensagem:

Start Sequence	Frame Data
<b>Fixed Header 4 bytes</b>	<b>9600 bytes</b>

Figura 4.2: Mensagem do frame da câmera

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em python, inicia-se o processo de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.3, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

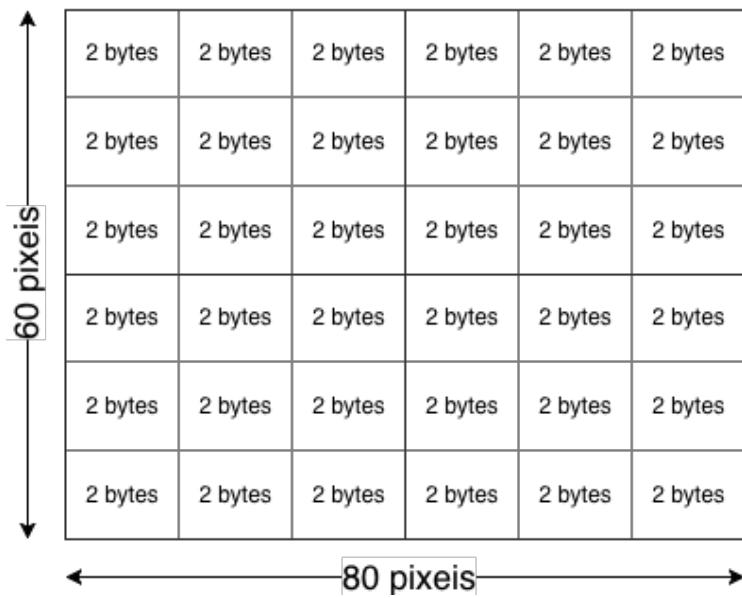


Figura 4.3: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel*, foi convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

Após isso a imagem foi reconstruída para verificar a integridade dos *frames*.

#### 4.1.2 Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.



Figura 4.4: Sonar EZ-1

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

Ao executar o código, recebe-se, no intervalo de dez segundos, todas as leituras de tensão efetuadas no sensor. Notamos que ao afastar o obstáculo do sonar o valor de tensão aumentava e quando aproximavamo o obstáculo o valor de tensão diminuía. Após feita a conversão de tensão para unidades métricas através das informações disponibilizadas no *datasheet*, foi possível validar o sensor.

#### 4.1.3 Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em



Figura 4.5: Sensor de proximidade E18-D80NK

uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

#### 4.1.4 Smart Charger

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

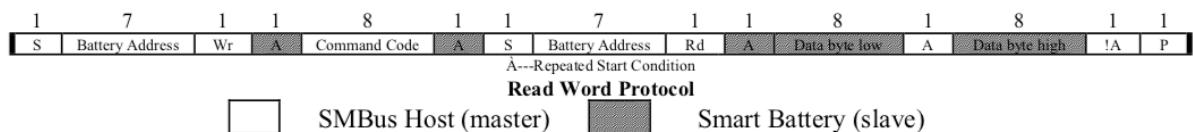


Figura 4.6: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibiliza-los na USB do computador. Além disso, um *script* em python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

#### 4.1.5 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.

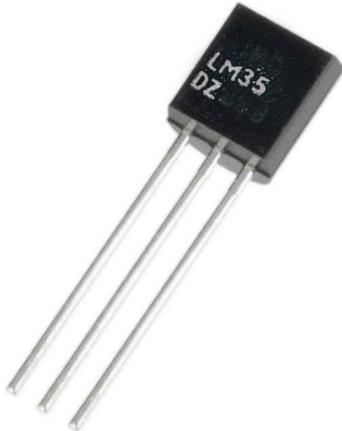


Figura 4.7: Sensor de Temperatura LM35

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

#### 4.1.6 GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.



Figura 4.8: GPS Piksi v2.3.1

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é

bastante degradada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

#### 4.1.7 IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.

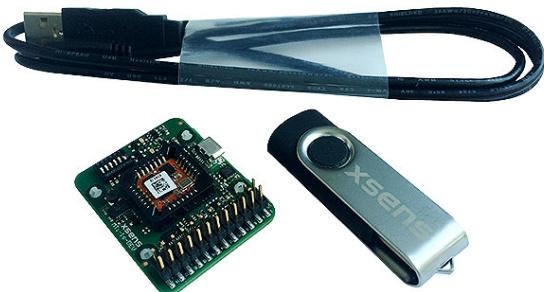


Figura 4.9: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

## 4.2 Integração no ROS

Após os testes unitários de cada sensor, deu-se inicio à integração dos sensores no ambiente ROS para construção do sistema de Percepção. A descrição da metodologia empregada para embarcar cada um dos sensores no framework de robótica está mostrada nos tópicos abaixo.

### 4.2.1 Phidgets

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos

os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

### 4.2.2 Smart Charger

O script utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

<b>W</b>	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>	<b>R</b>
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
<b>Fixed Header</b>	<b>Voltage</b>	<b>Temperature</b>	<b>Current</b>	<b>Capacity</b>

Figura 4.10: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS. O nó criado para a *smart charger* está mostrado no anexo XX.

### 4.2.3 Câmera Térmica

A integração da câmera no ROS foi feita em duas etapas, que na prática foram representadas como dois nós:

- O primeiro com objetivo da aquisição dos dados da câmera e sua disponibilização em um tópico.

- O segundo nó é responsável por todo o tratamento da imagem e detecção dos pontos quentes.

Para a aquisição dos dados, no primeiro nó, foi utilizado basicamente o mesmo algoritmo que no teste unitário, porém com a integração das bibliotecas do ROS para publicar os *frames* em forma de *Numpy arrays* em seus devido tópico.

No segundo nó foi utilizado a biblioteca OpenCV para realizar o processamento da imagem. Primeiramente, o frame disponibilizado pelo nó de aquisição é adquirido subscrevendo do seu respectivo tópico. Para retirar o aspecto "pixelado" da imagem da câmera, devido a sua baixa resolução (80x60 pixels), foi necessário realizar uma interpolação cúbica para redimensionar a imagem para uma resolução de (400x300 pixels), obtendo assim uma imagem mais detalhada.

Com a imagem já redimensionada, é aplicado um filtro *blur* para eliminar altas frequências que podem interferir na binarização (*thresholding*) que será feita na imagem.

Após o filtro, o frame é binarizado com o objetivo de facilitar a identificação dos pontos quentes através de um algoritmo de busca de contornos.

O esquemático abaixo mostra simplificadamente o processo de tratamento da imagem.

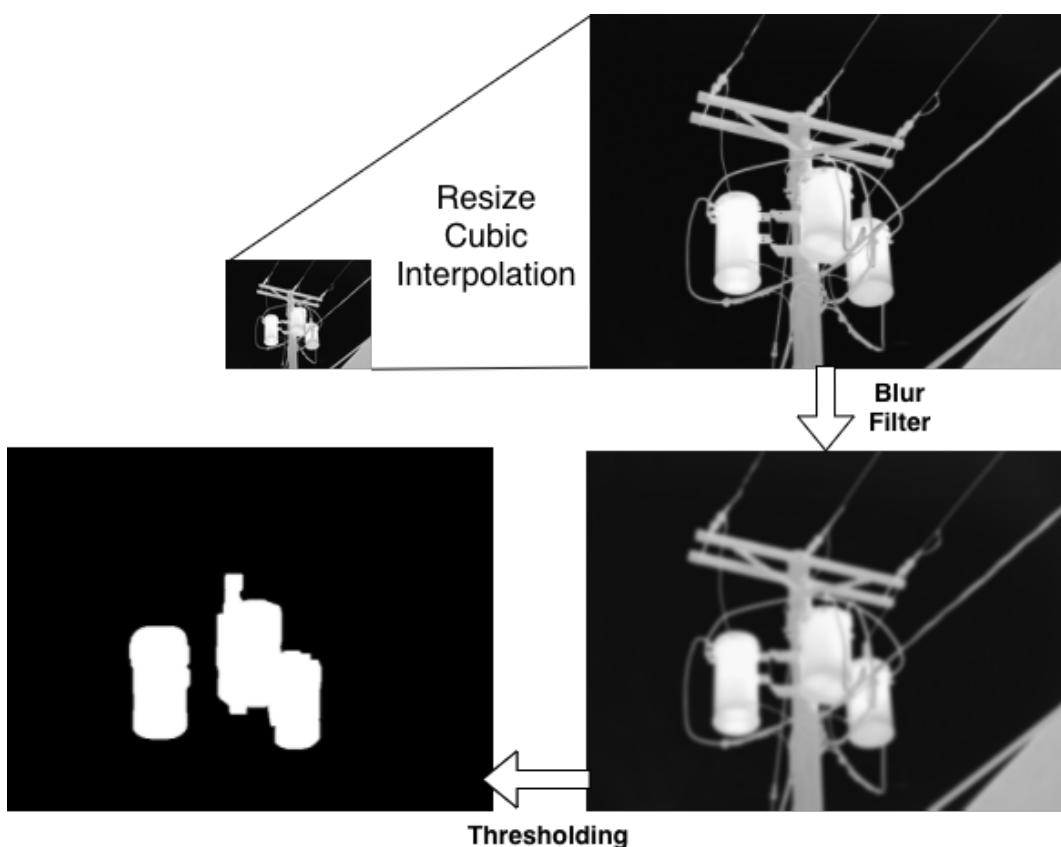


Figura 4.11: Esquemático do processamento da imagem

#### 4.2.4 GPS

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por ??) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

#### 4.2.5 IMU

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarcar a IMU no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

### 4.3 Testes integrados

asdfadsfsdfs

### 4.4 Trabalhos futuros

asdfadsfsdfs

## Conclusão

Chegou a hora de apresentar o apanhado geral sobre o trabalho de pesquisa feito, no qual são sintetizadas uma série de reflexões sobre a metodologia usada, sobre os achados e resultados obtidos, sobre a confirmação ou rechaço da hipótese estabelecida e sobre outros aspectos da pesquisa que são importantes para validar o trabalho. Recomenda-se não citar outros autores, pois a conclusão é do pesquisador. Porém, caso necessário, convém citá-lo(s) nesta parte e não na seção seguinte chamada **Conclusões**.

### 5.1 *Considerações finais*

Brevemente comentada no texto acima, nesta seção o pesquisador (i.e. autor principal do trabalho científico) deve apresentar sua opinião com respeito à pesquisa e suas implicações. Descrever os impactos (i.e. tecnológicos, sociais, econômicos, culturais, ambientais, políticos, etc.) que a pesquisa causa. Não se recomenda citar outros autores.

---

Apêndice A

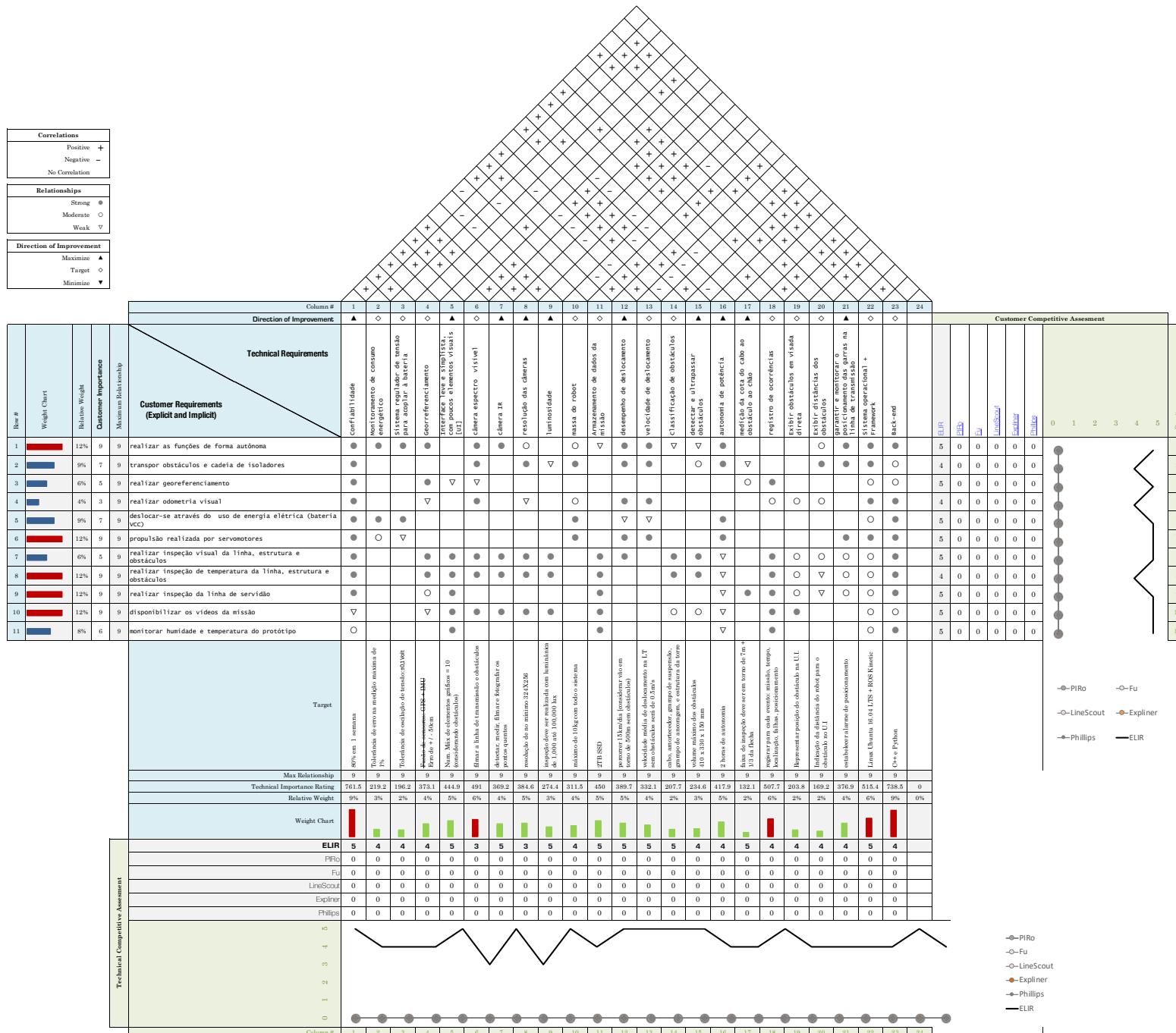
---

---

**QFD**

---



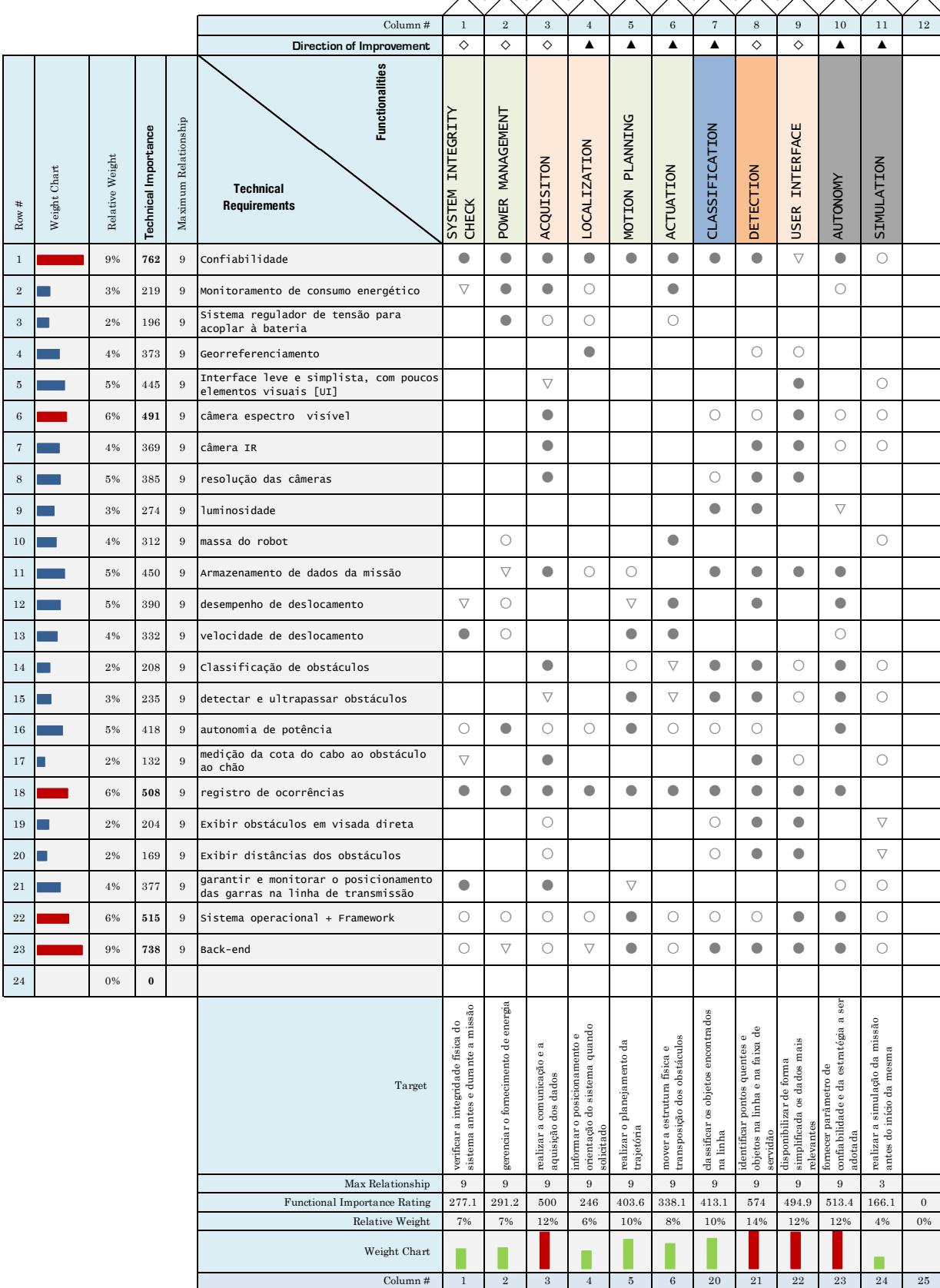




Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

Relationships	
Strong	●
Moderate	○
Weak	▽

Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◊
Minimize	▼



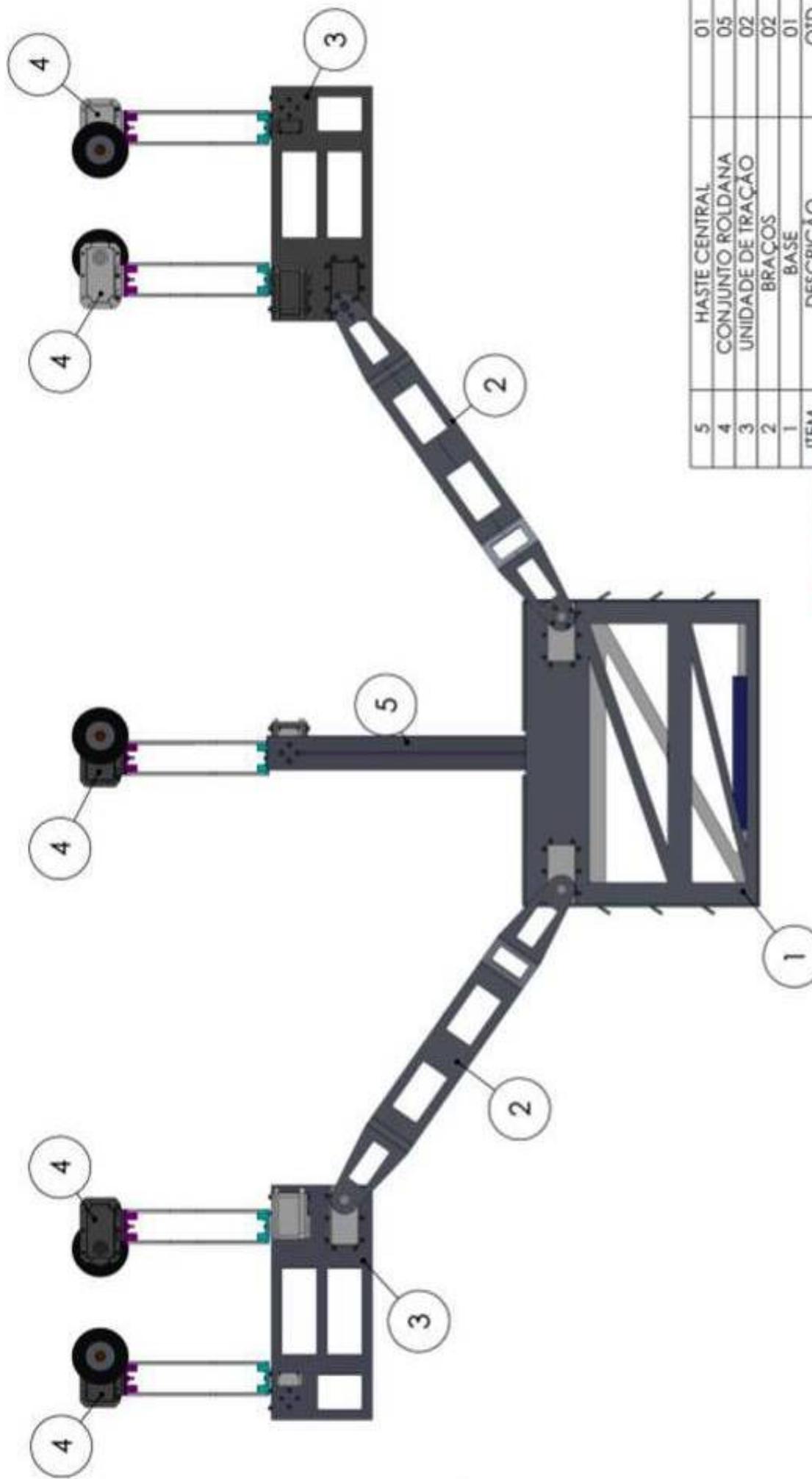
---

## Diagramas mecânicos

---



REV	DESCRIPTION	DEAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017



ITEM	DESCRICAO	QTD
5	HASTE CENTRAL	01
4	CONJUNTO ROLDANA	05
3	UNIDADE DE TRACAO	02
2	BRAÇOS	02
1	BASE	01

Pi-Ro 2.1

Pi-Ro 2.1

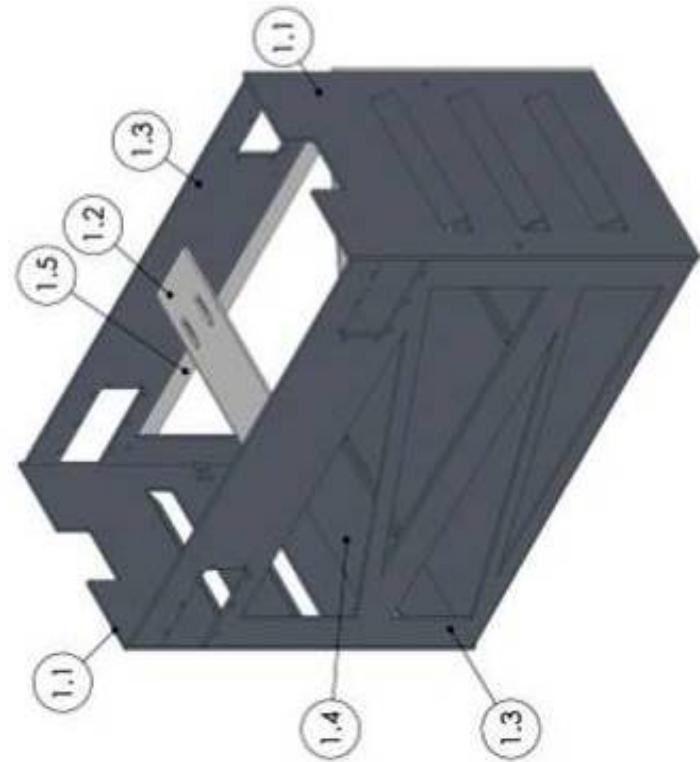


Pi-Ro 2.1  
VISTA FRONTAL

Page:	1 of 13
Date:	07/09/2017
Name:	Marco Reis
Signature:	
Comments:	1. All dimensions are in mm 2. Standard drawing type 3. Sketch drawing

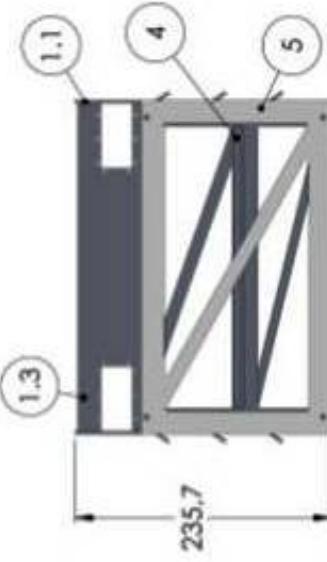
This information is the property of the institution and may not be copied, reproduced or distributed outside the contract period.

REV 0 DESCRIPTION Drawing 07/09/2017  
Drawing elaboration Juliana Santori

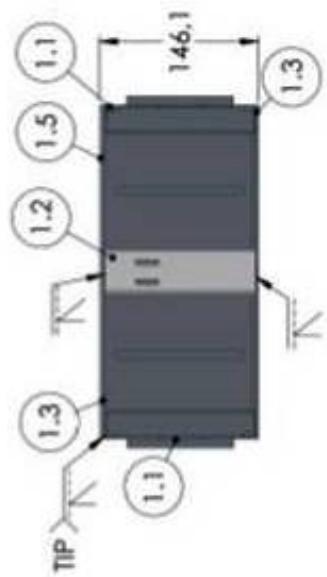


VISTA ISOMÉTRICA

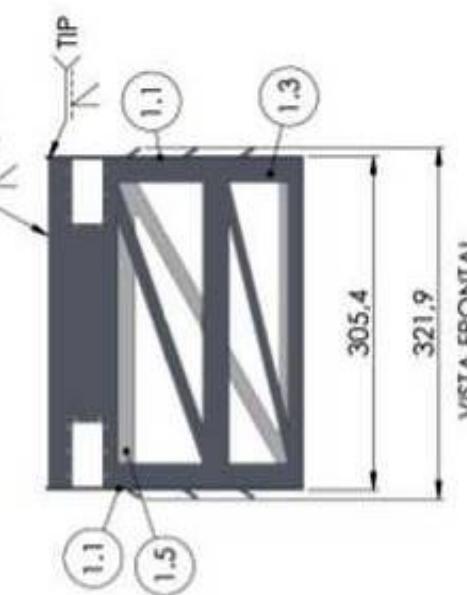
F E D C B A



VISTA TRASEIRA



VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

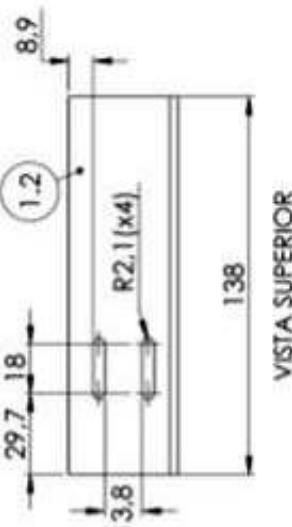
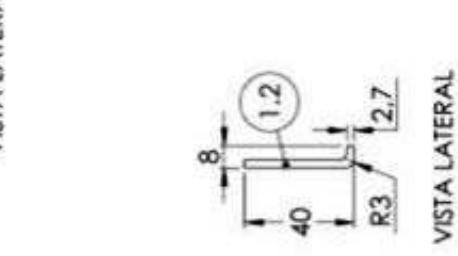
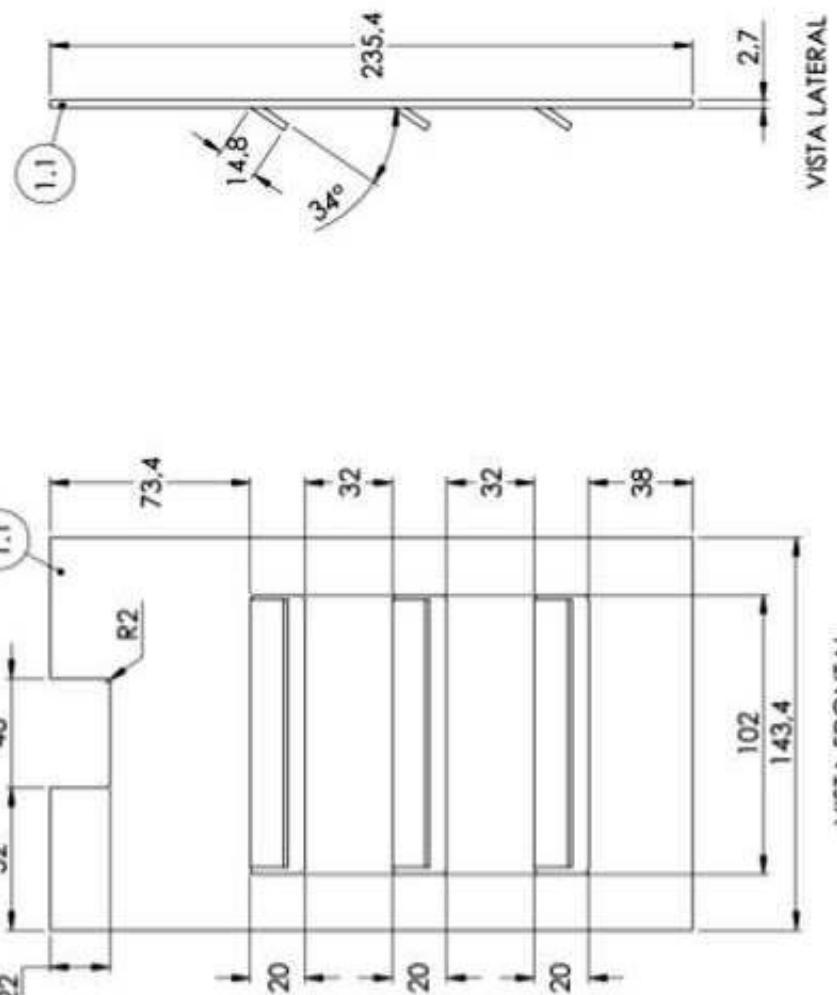
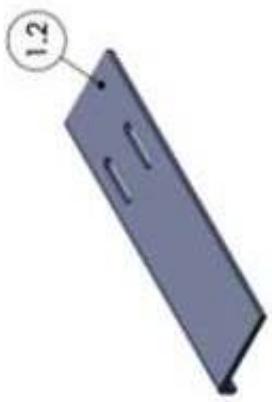
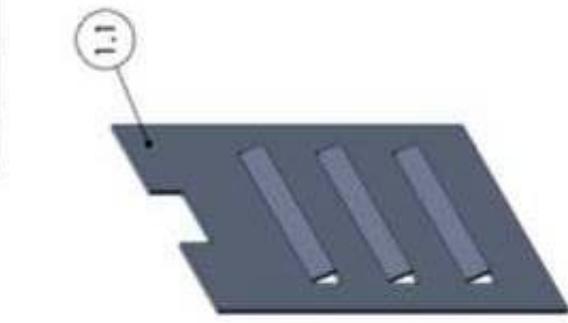
ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.1	02	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	
		DESCRICAÇÃO	
		QTD	1-2
		ITEM	A3
		Base:	27/09/2017



Notes:  
1. All measurements in mm.  
2. Relative cutting steps.  
3. Detour drawing.

Number:	0	Date:	07/09/2017
Name:		Author:	Marco Reis
Project:	PI-Ro 2.1	Material:	Alumínio
Comments:		Thickness:	N/A

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlia Scattor	07/09/2017



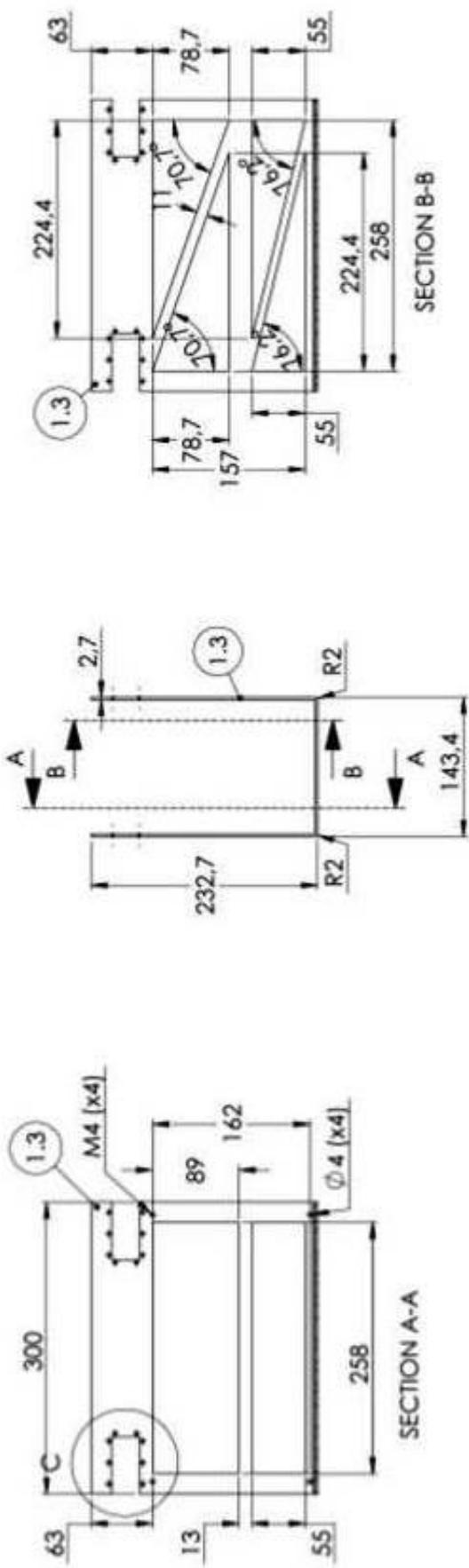
ITEM	1.2	CHAPA 02 : 138 x 47 x 2,7 mm	Alumínio
	1.1	CHAPA 01 : 143.4 x 235.4 x 2,7 mm	Alumínio
		DESCRICAÇÃO	MATERIAL
			1:2

**SENAI FIEB**  
Brazilian Institute of  
**3R Robotics**  
Instituto Brasileiro de Robótica

NOTA:	Júlia Scattor Assinante: Marco Reis	Alumínio Tensão: N/A
DATA:	07/09/2017	
ASSINATURA:	(Signature)	

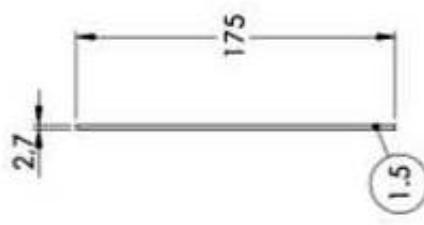
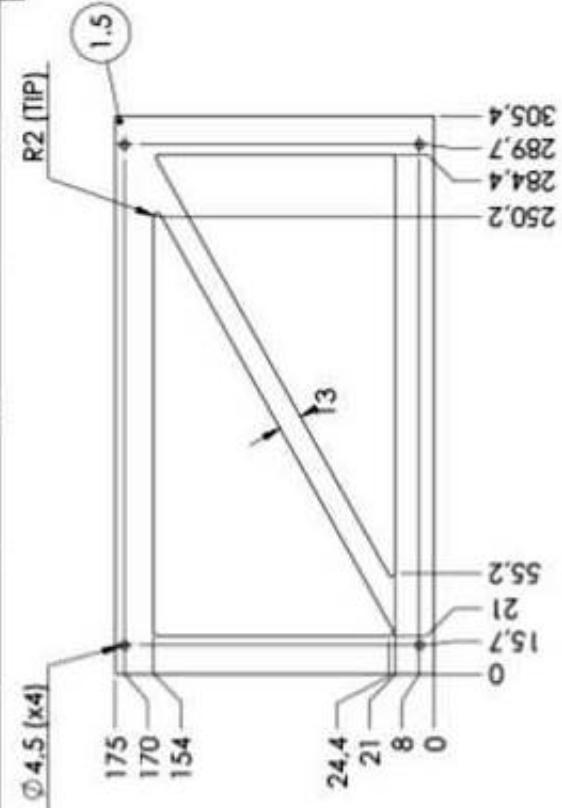
NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2,0mm.

REV DATE DECODED BY  
0 02/09/2017 02/09/2017

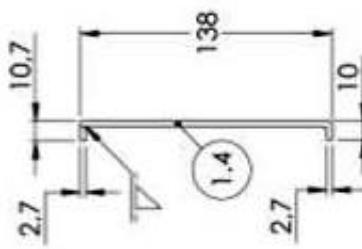


**DETALHE C**  
**ESCALA 2:5**  
**FURAÇÃO TÍPICA PARA ENCAIXE**  
**DO MOTOR MX-106T**

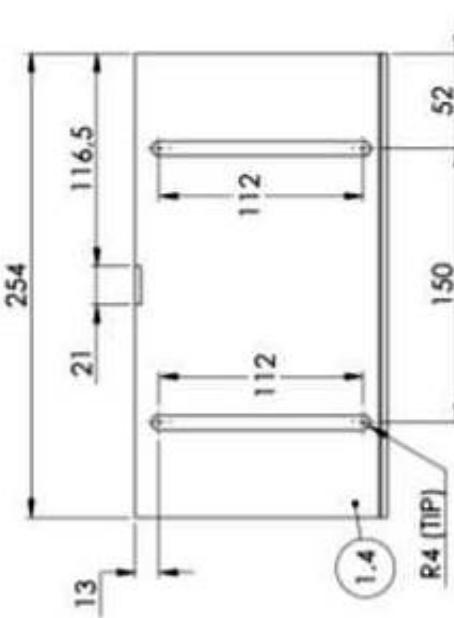
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Santori	07/09/2017



VISTA LATERAL



VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



VISTA FRONTAL

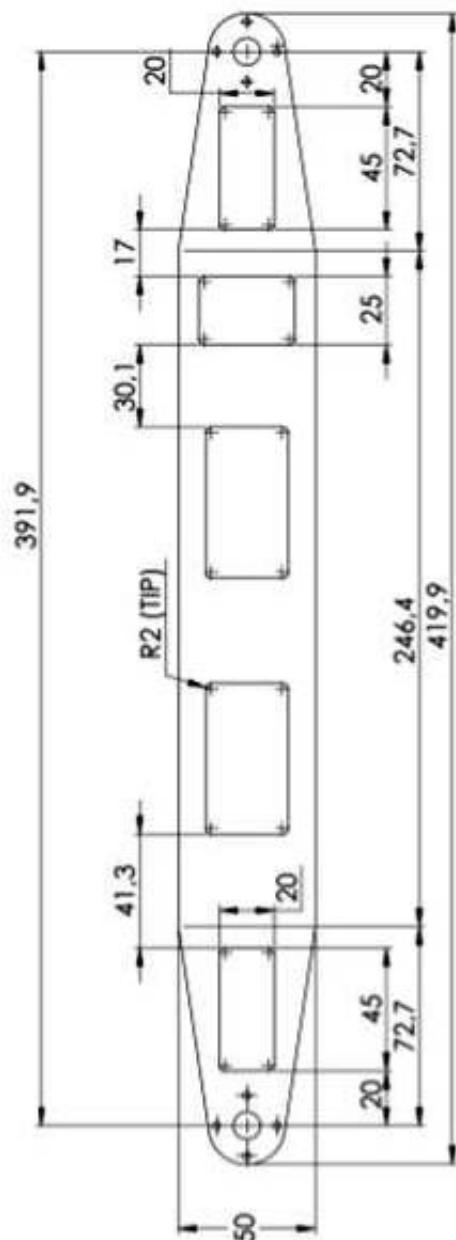
ITEM	DESCRICAÇÃO	MATERIAL	
		mm	kg
5	Chapa 305.4 x 145 x 2.7mm	Alumínio	1.2
		A3	-

Project: PRo 2.1  
Draw Date: 07/09/2017  
Author: Juliana Santori  
Reviewer: Marco Reis  
Notes:  
1. All measurements in mm  
2. Material thickness 2.7mm  
3. Default drawing  
4. All dimensions are in mm  
5. Drawing date 07/09/2017  
6. Drawing number 0  
7. Drawing scale 1:1  
8. Drawing date 07/09/2017  
9. Drawing number 0  
10. Drawing scale 1:1  
11. Drawing date 07/09/2017  
12. Drawing number 0  
13. Drawing scale 1:1

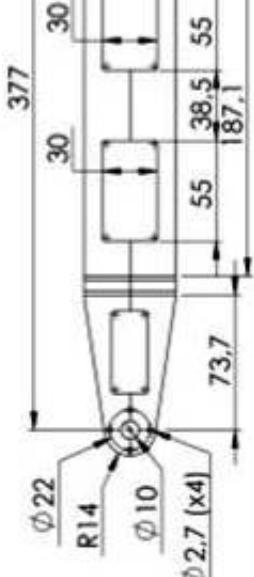
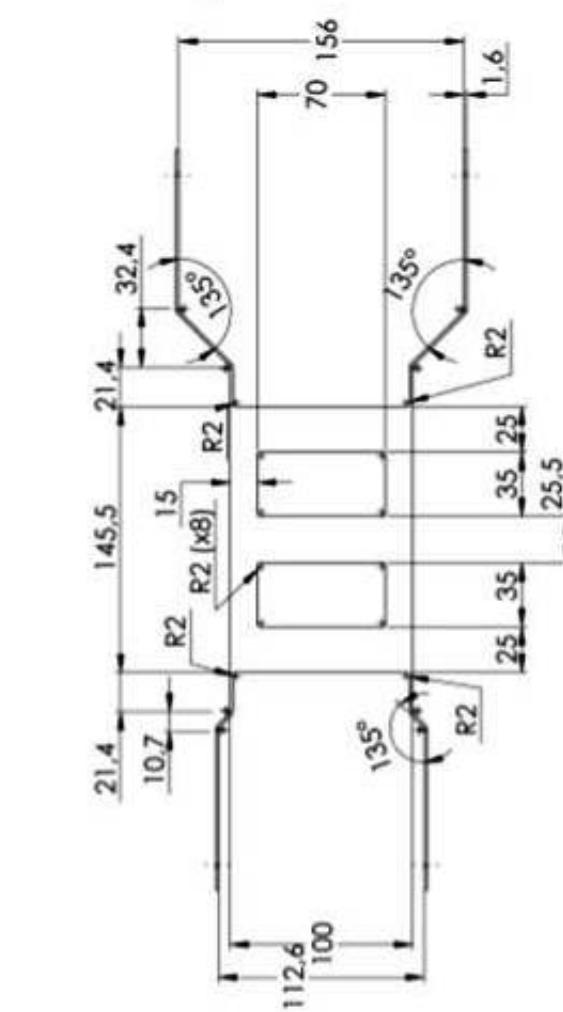
The information in this document must be treated, stored and handled in accordance with the provisions of the applicable laws.

07/09/2017

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlian Sartori	07/11/2016
A	Modificação de dimensões	Júlian Sartori	07/09/2017



VISTA ISOMÉTRICA



NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3.0mm.  
NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112.6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

Base File: BRAÇO- ITEM 02  
Project: PI-Ro 2.1  
Owner: Júlian Sartori  
Applic: Marco Reis  
Status: N/A  
Rev: 0  
Date: 07/09/2017

VISTA ISOMÉTRICA

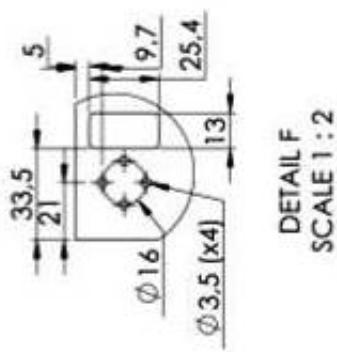
Scale: 1:2  
02  
A3  
Drawing: 07/09/2017  
F  
E  
D  
C  
B  
A

The performance shown in these documents was tested by our company under specific conditions.  
1. All the measurements were taken with a digital caliper.  
2. The drawings are not to scale.  
3. Default drawing units are mm.  
4. Drawing date: 07/09/2017  
5. Drawing number: 07/09/2017

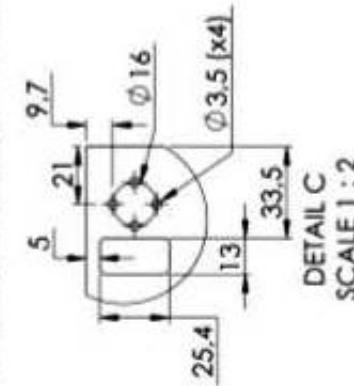
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlio Soárez	07/11/2019
A	Modificação da dimensão	Júlio Soárez	18/11/2019



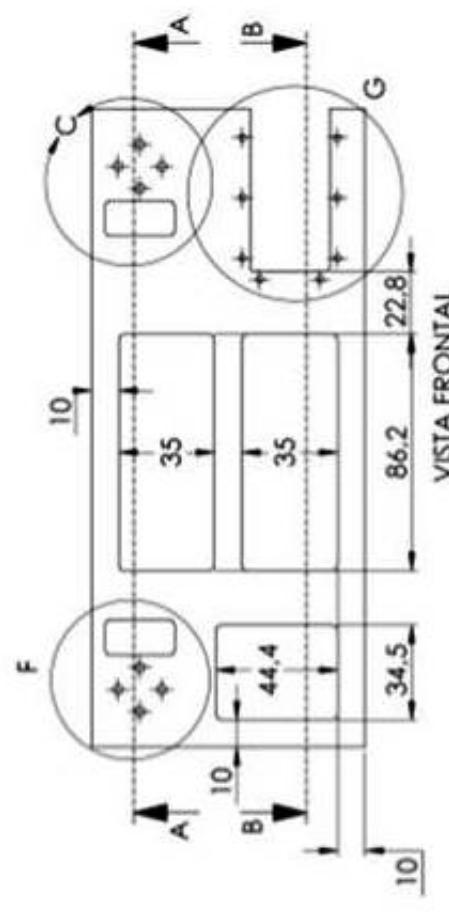
SECTION A-A



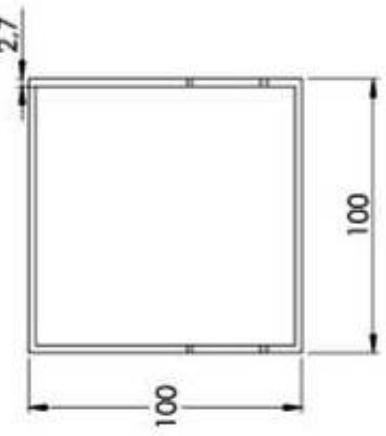
DETAIL F  
SCALE 1 : 2



DETAIL C  
SCALE 1 : 2



VISTA FRONTAL



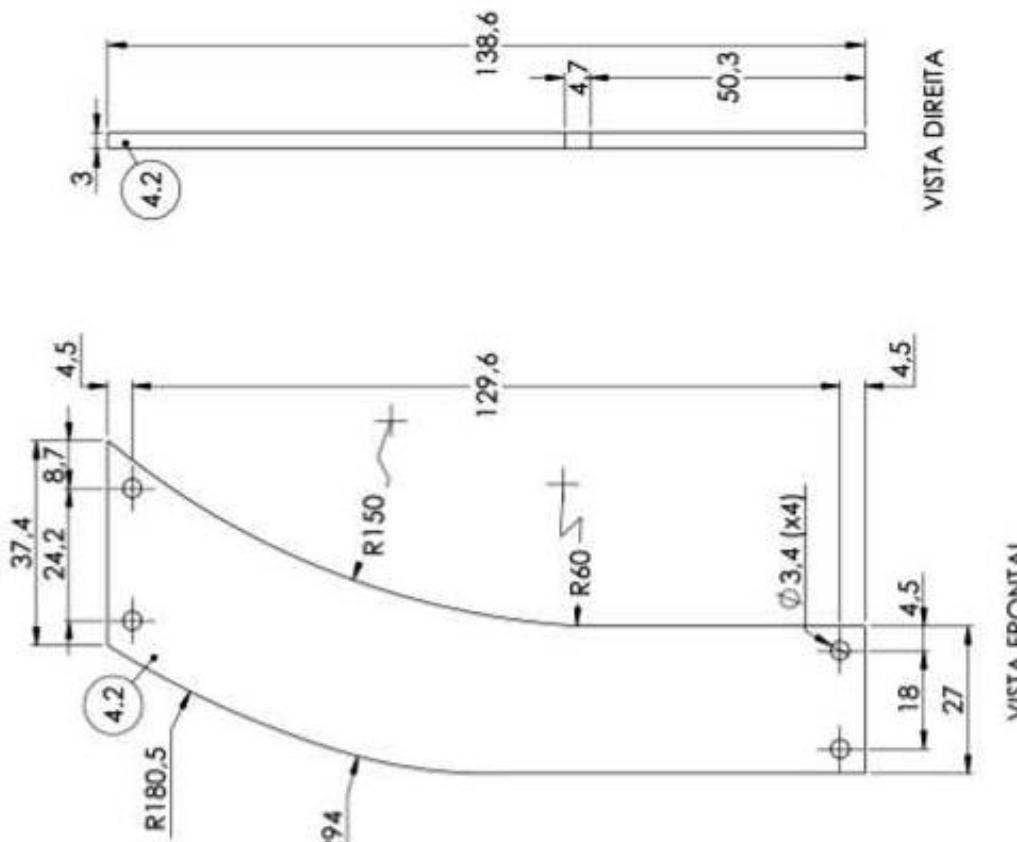
VISTA DIREITA



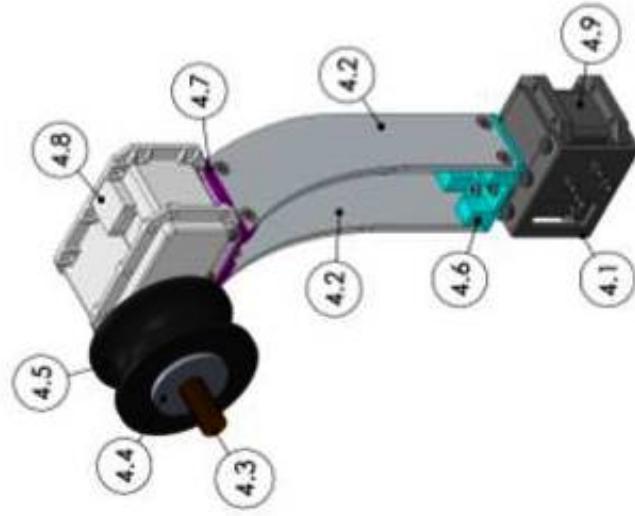
### VISTA ISOMÉTRICA

**NOTA 01:** CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2mm.

Nome:	UNIDADE DE TRAÇÃO - ITEM 03		Data:
	Breve Título:	1:2	
Número:	Pi-Ro 2.1		Gaveta:
	Project:	02	
Número:	Juliana Santori		Página:
	Owner:	Alumínio	
Número:	Marco Reis		Técnico:
	Author:	N/A	
Número:	07/09/2017	Responsible:	7/13
	<input checked="" type="checkbox"/>	Date:	
Aviso: As informações contidas nessa documentação são propriedade da SENAI FIEB e de sua rede de parceiros. Proibida a sua reprodução, total ou parcial.			



VISTA ISOMÉTRICA



ITEM	DESCRICAÇÃO	QTD	MATERIAL
4.9	Motor MX-28	05	-
4.8	Motor MX-106T-31	05	-
4.7	Garra- Chapa IV	05	Alumínio
4.6	Garra- Chapa III	05	Alumínio
4.5	Roldana externa	05	Borracha
4.4	Roldana interna	05	Alumínio
4.3	Eixo Roldana	05	Alumínio
4.2	Garra- Chapa I	10	Alumínio
4.1	Suporte garra	05	Alumínio



SENAI FIEB  
Brazilian Institute of  
Robotics

NOTAS:  
1. As dimensões em milímetros.  
2. Unidade de medida: milímetro.  
3. Detalhes na figura.

REVISÃO: 0 DATA: 07/09/2017 USO: ORIGINAIS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL) E COPIAS (USADA NA FÁCIL).

REVISÃO: X DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: A3 DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: B DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: C DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: D DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: E DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

REVISÃO: F DATA: 07/09/2017 USO: COPIAS SERVOS FÁCIL - FÁCIL (USADO NA FÁCIL).

4

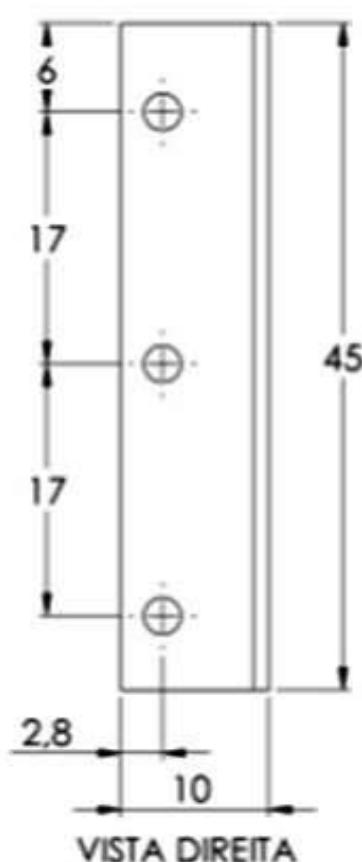
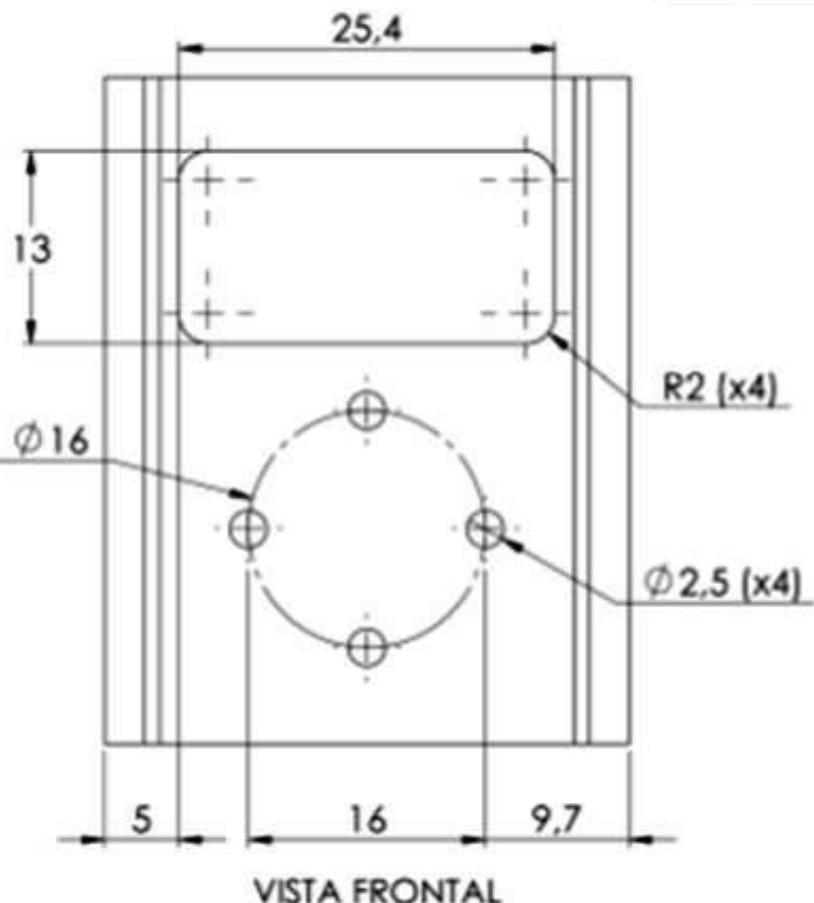
3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F



D

C

B

F

E

D

C

B

A

VISTA FRONTAL

VISTA DIREITA

VISTA INFERIOR

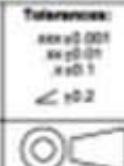


VISTA ISOMÉTRICA



Notes:  
 1. All measurement in mm  
 unless otherwise specified.  
 2. Remove cutting edge  
 3. Default finishing

Revisão:  
 0



Draw Title:

**CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.1**

Scale: 2:1

Quantity: 05

Size: A4

Finishing:

Project: PI-Ro 2.1

Order:

Juliana Sartori

Aprov:

Marco Reis

Date:

07/09/2017

Material: Alumínio

ThermalT:

N/A

Page: 9/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR  
USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

3

2

1

4

3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F

F

E

E

D

D

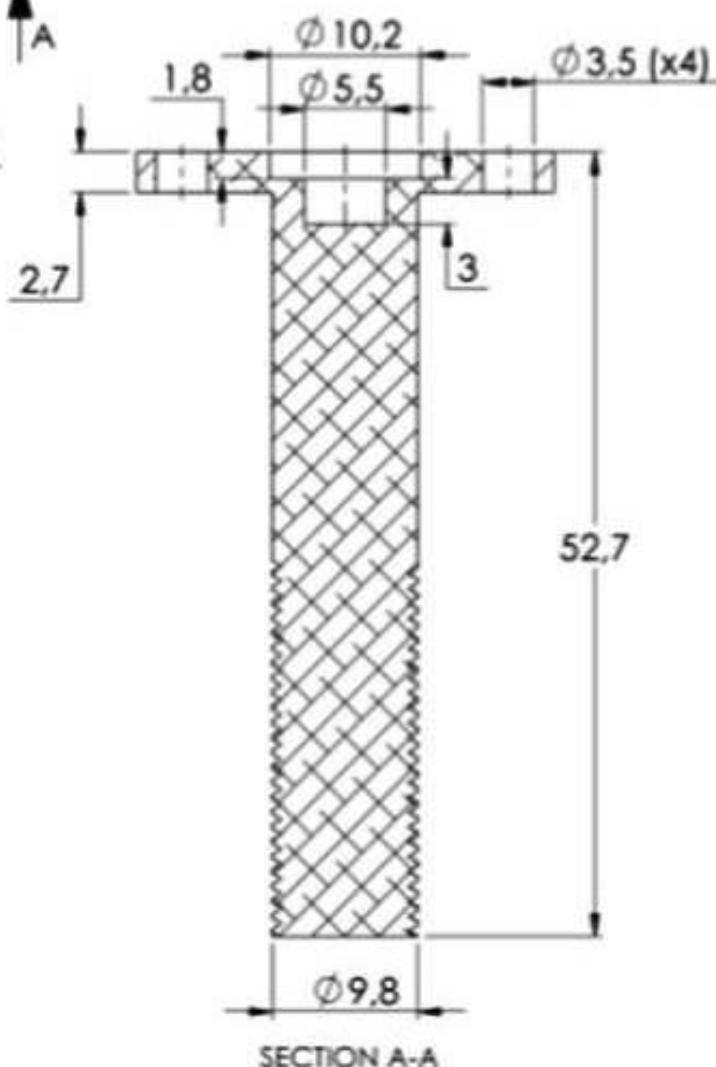
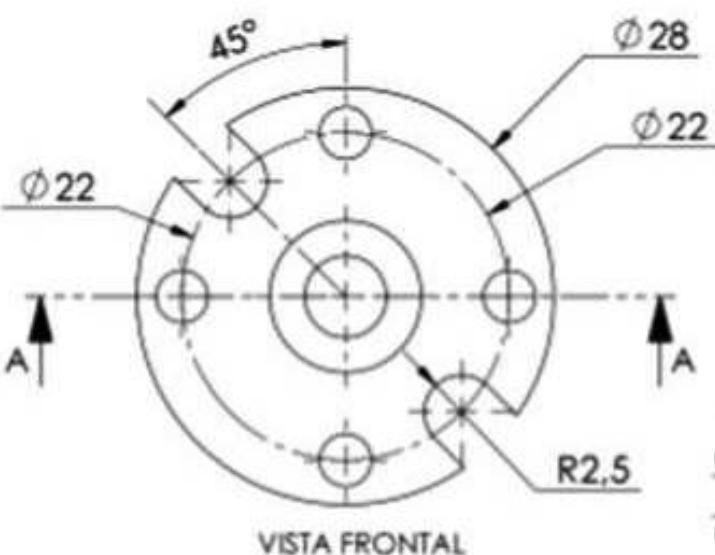
C

C

B

B

VISTA ISOMÉTRICA



**SENAI** SISTEMA  
**FIEB**  
Poderoso para Indústria do Estado de São Paulo

**BR** Brazilian Institute of  
Robotics

**Notes:**  
1. All measurement in mm  
unless otherwise specified.  
2. Remove cutting edge  
3. Default finishing

**Tolerances:**  
 $\pm 0.02$  (0.01)  
 $\pm 0.01$   
 $\pm 0.1$   
 $\pm 0.2$

**Reviewed:**  
0

**Draw Title:** CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.3

**Project:** PI-Ro 2.1

**Draw:** Juliana Sartori      **Material:** Alumínio

**Approved:** Marco Reis      **ThermalT:** N/A

**Date:** 07/09/2017      **Page:** 10/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

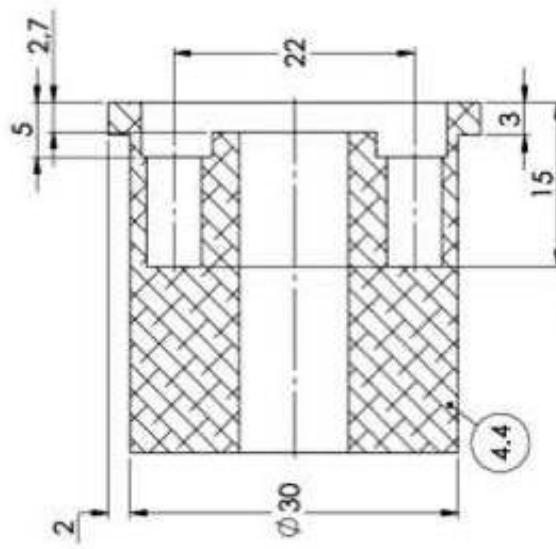
3

2

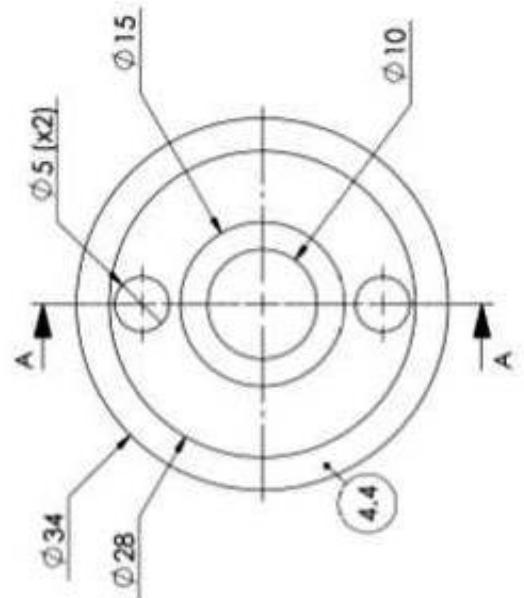
1

A

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Julianna Santori	07/09/2017



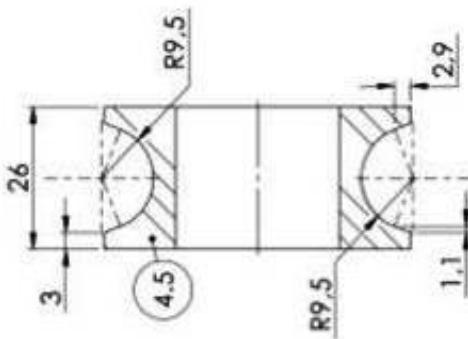
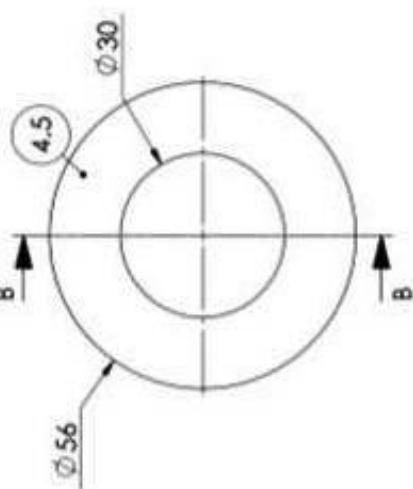
SECCION A-A



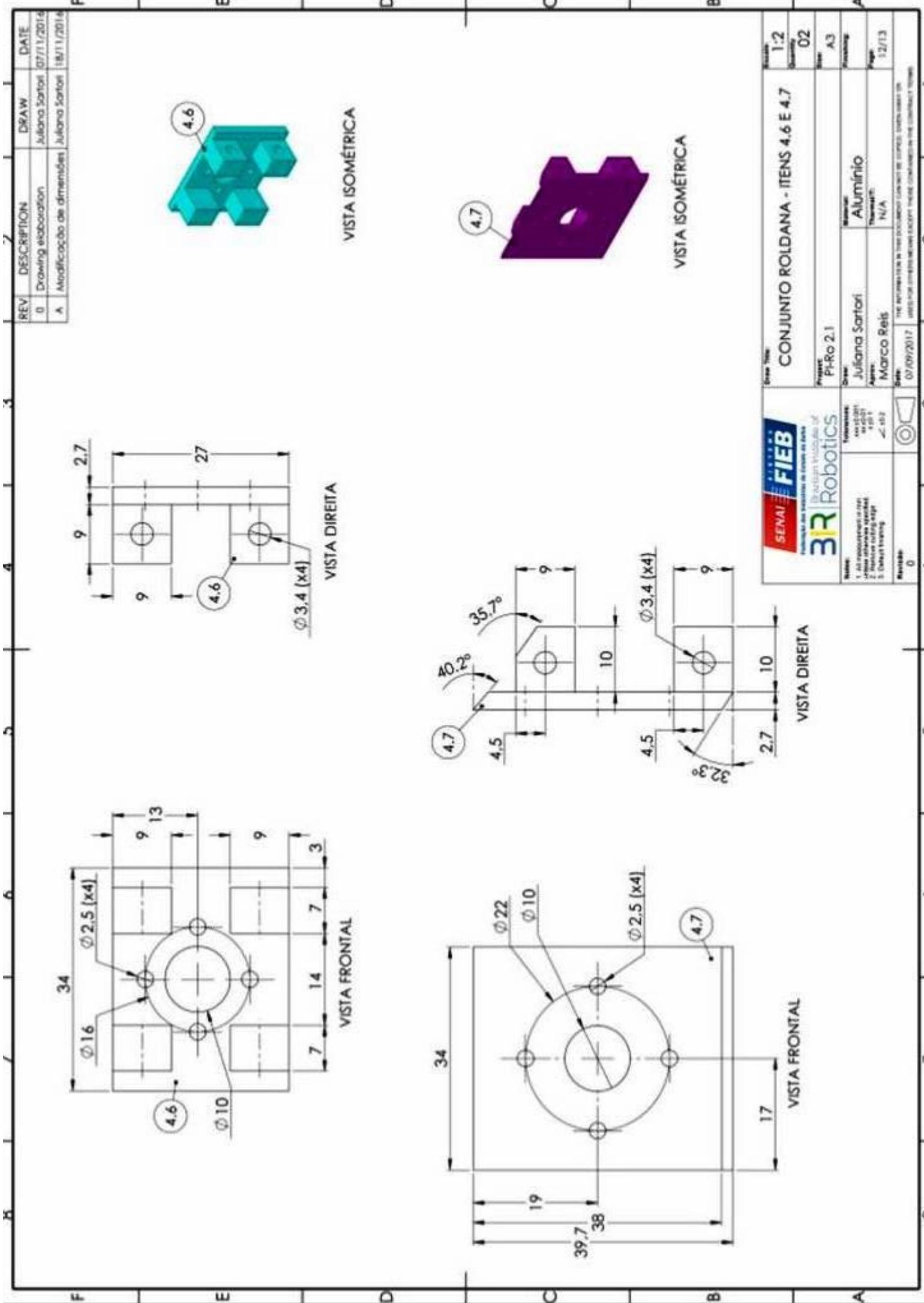
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

SECTION B-B  
ESCALA 1:1VISTA  
FRONTAL  
ESCALA 1:1

Line No:	CONJUNTO ROLDANA	Sheet No:	2-1
Item No:	ITEM 4.4 E 4.5	Page No:	05
Project:	PhRo 2.1	Printed:	A3
Organization:	FIEB	Date:	17/13
Organization:	SENAI	Author:	Julianna Santori
Organization:	Brazilian Institute of Industrial Research	Reviewer:	Marco Reis
Notes:	1. All dimensions in mm. 2. Material: G45C40 3. Detail drawing.	Comments:	The information in this drawing sheet must be updated when the item is produced.
Reviewer:	N/A	Date:	07/09/2017



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

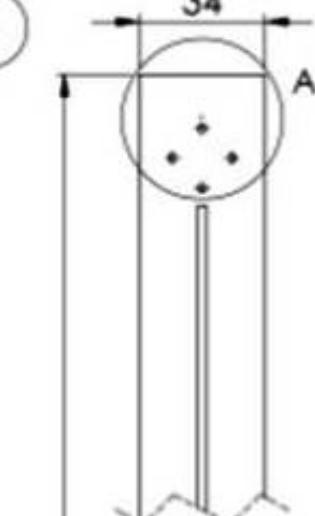
B

4

3

2

1



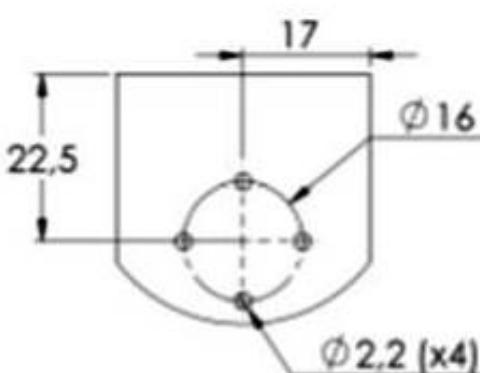
279

VISTA FRONTAL

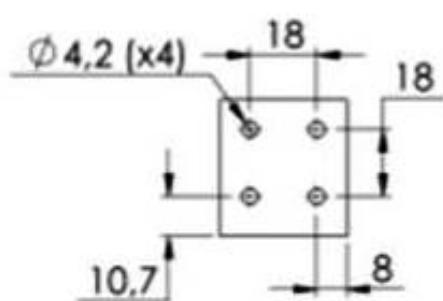


240.8

VISTA DIREITA

DETAIL A  
SCALE 1 : 1

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA INFERIOR



**Notes:**  
 1. All measurement in mm unless otherwise specified.  
 2. Remove cutting edges.  
 3. Default finishing.

Revisado:  
0

Tolerances:  
 $\pm 0.001$   
 $\pm 0.01$   
 $\pm 0.1$   
 $\pm 0.2$



Draw Title:

HASTE CENTRAL - ITEM 5

Scale:  
1:2  
Quantity:  
01  
Size:  
A4

Project:

PI-Ro 2.1

Draw:

Juliana Sartori

Approve:

Marco Reis

Material:

Alumínio

ThermalT:

N/A

Finishing:  
Page:  
13/13

Date:

07/09/2017

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR  
 USED FOR OTHERS MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

---

## Diagramas eletro-eletrônicos

---

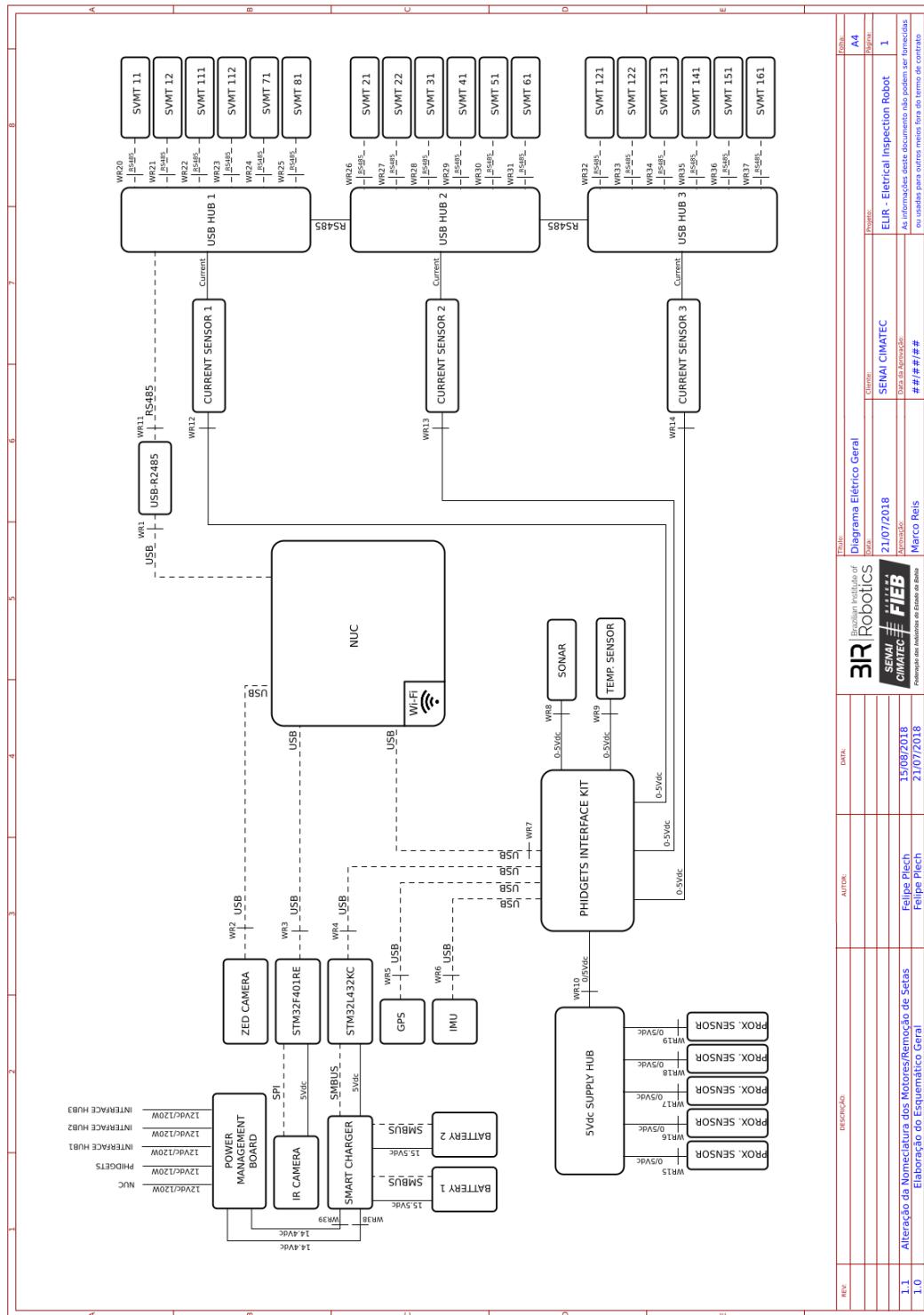


Figura C.1: Esquemático Geral

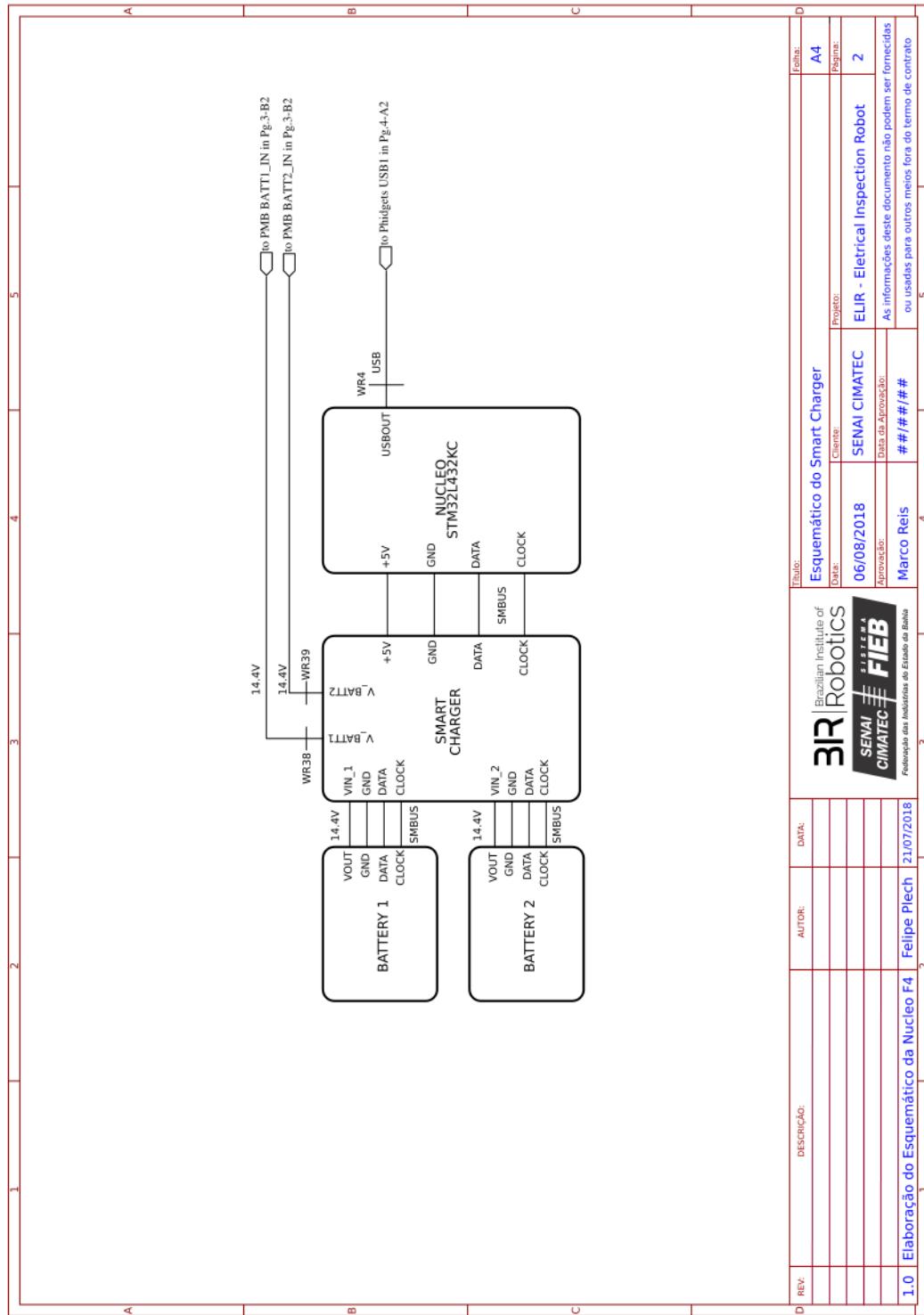


Figura C.2: Esquemático - Smart Charger

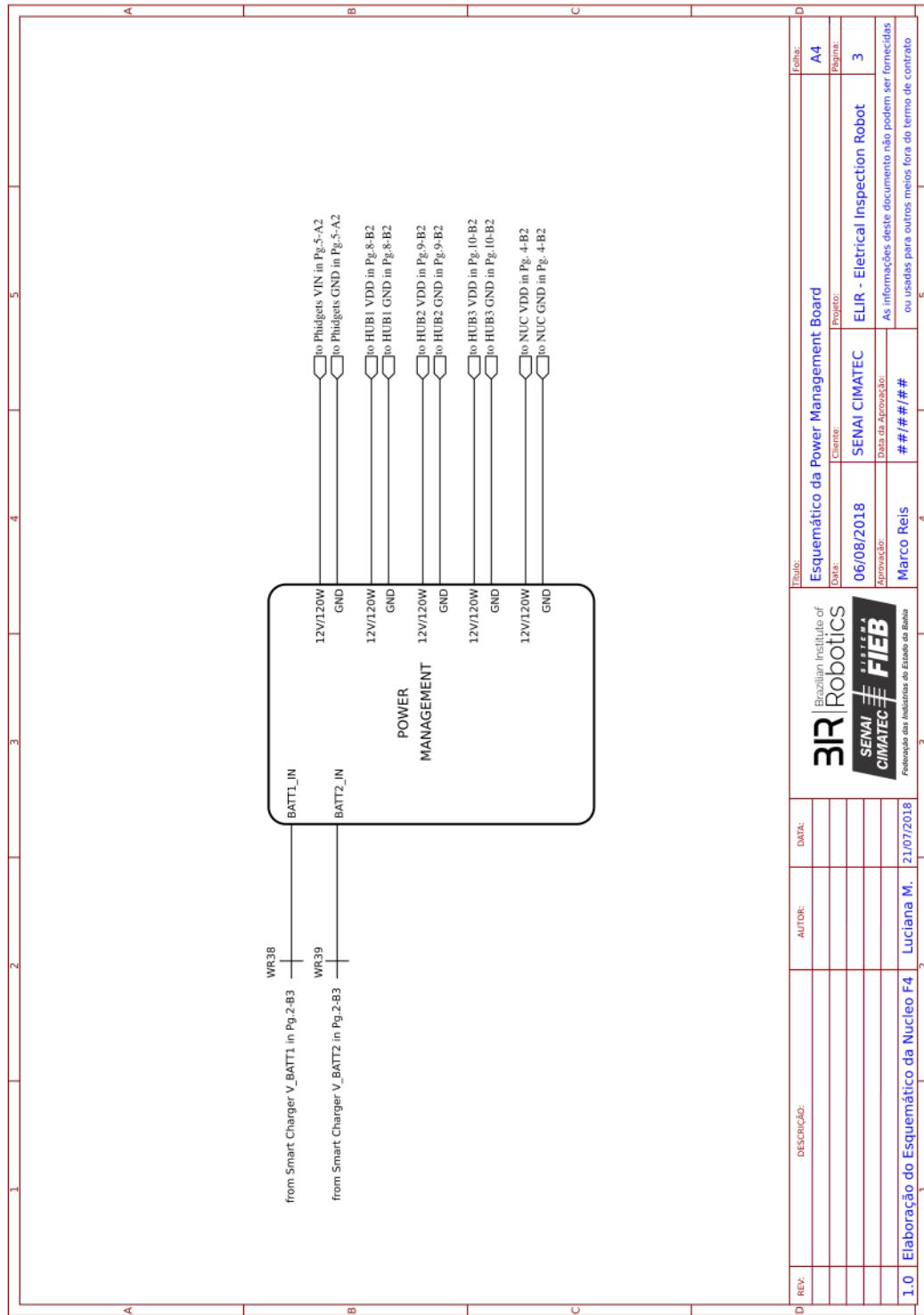


Figura C.3: Esquemático - Placa de Gerenciamento de Energia

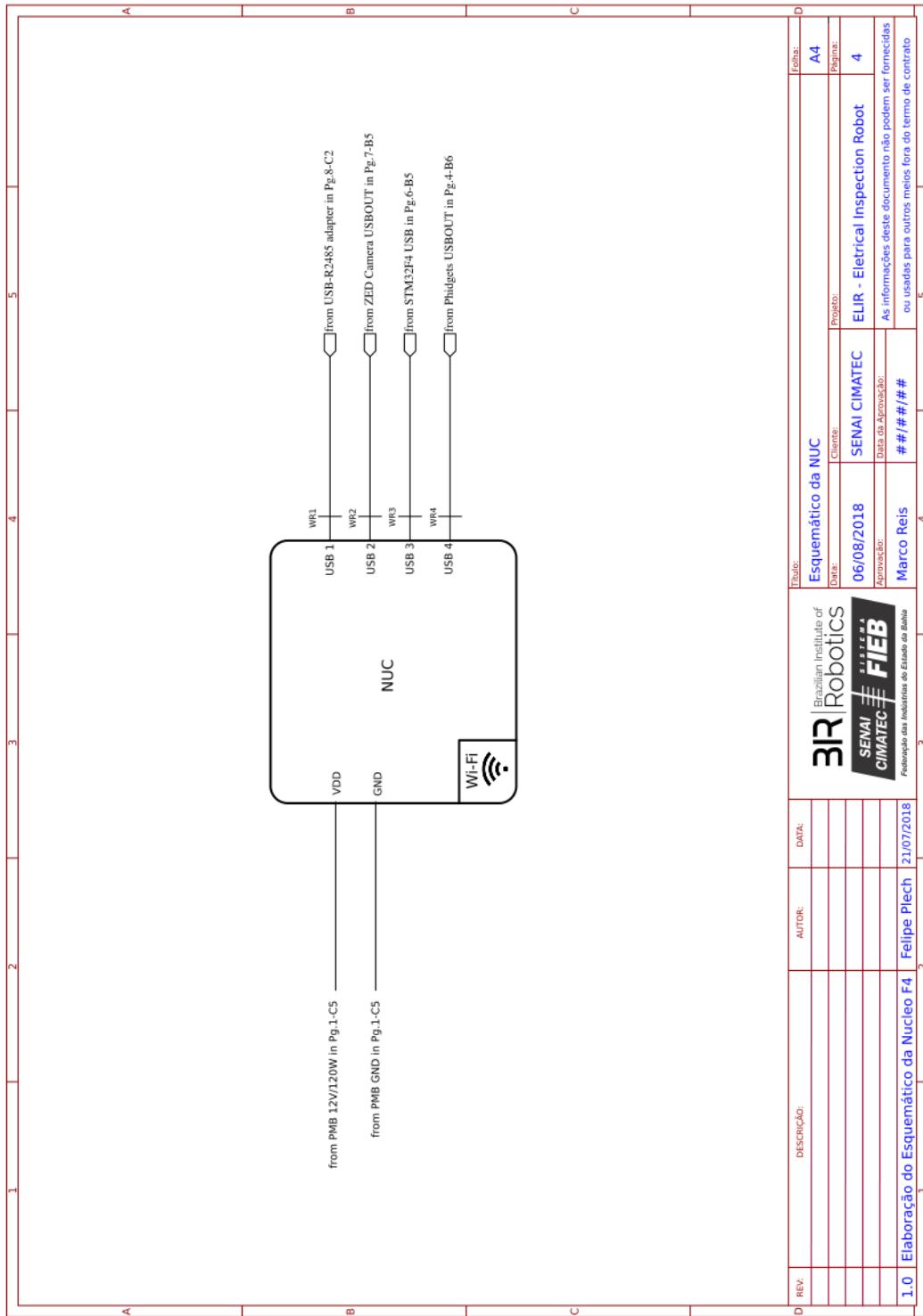


Figura C.4: Esquemático - NUC

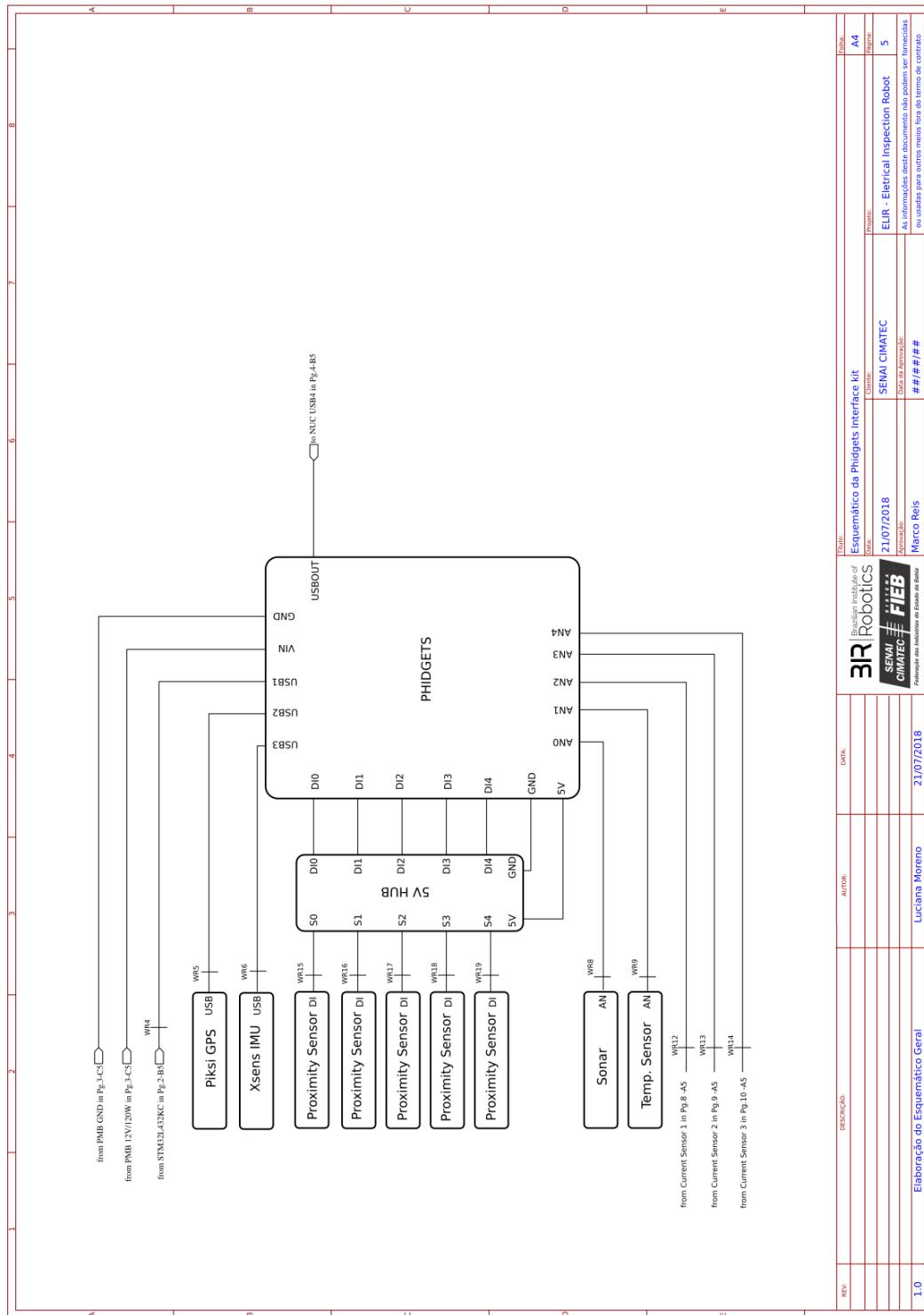


Figura C.5: Esquemático - Phidgets

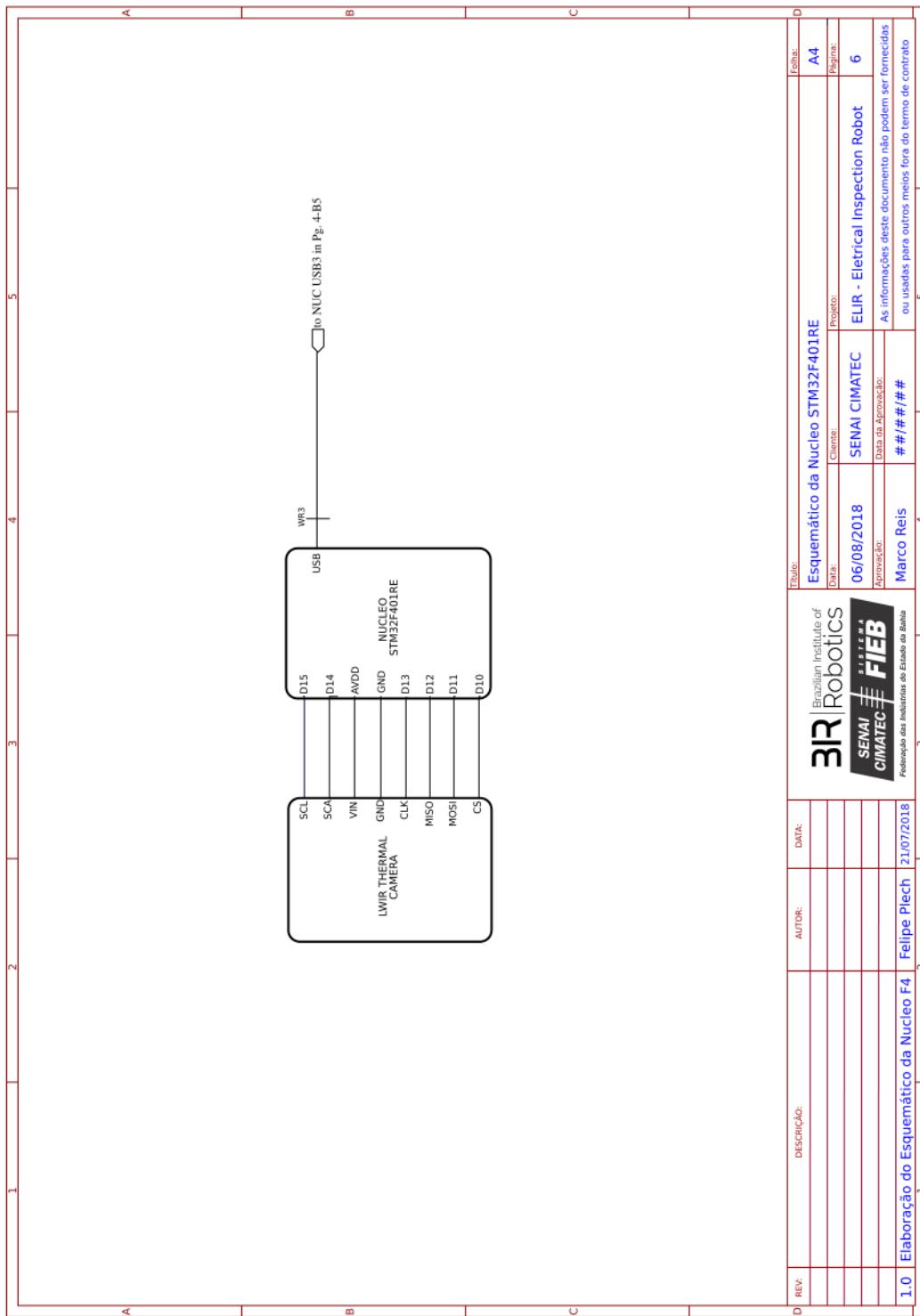
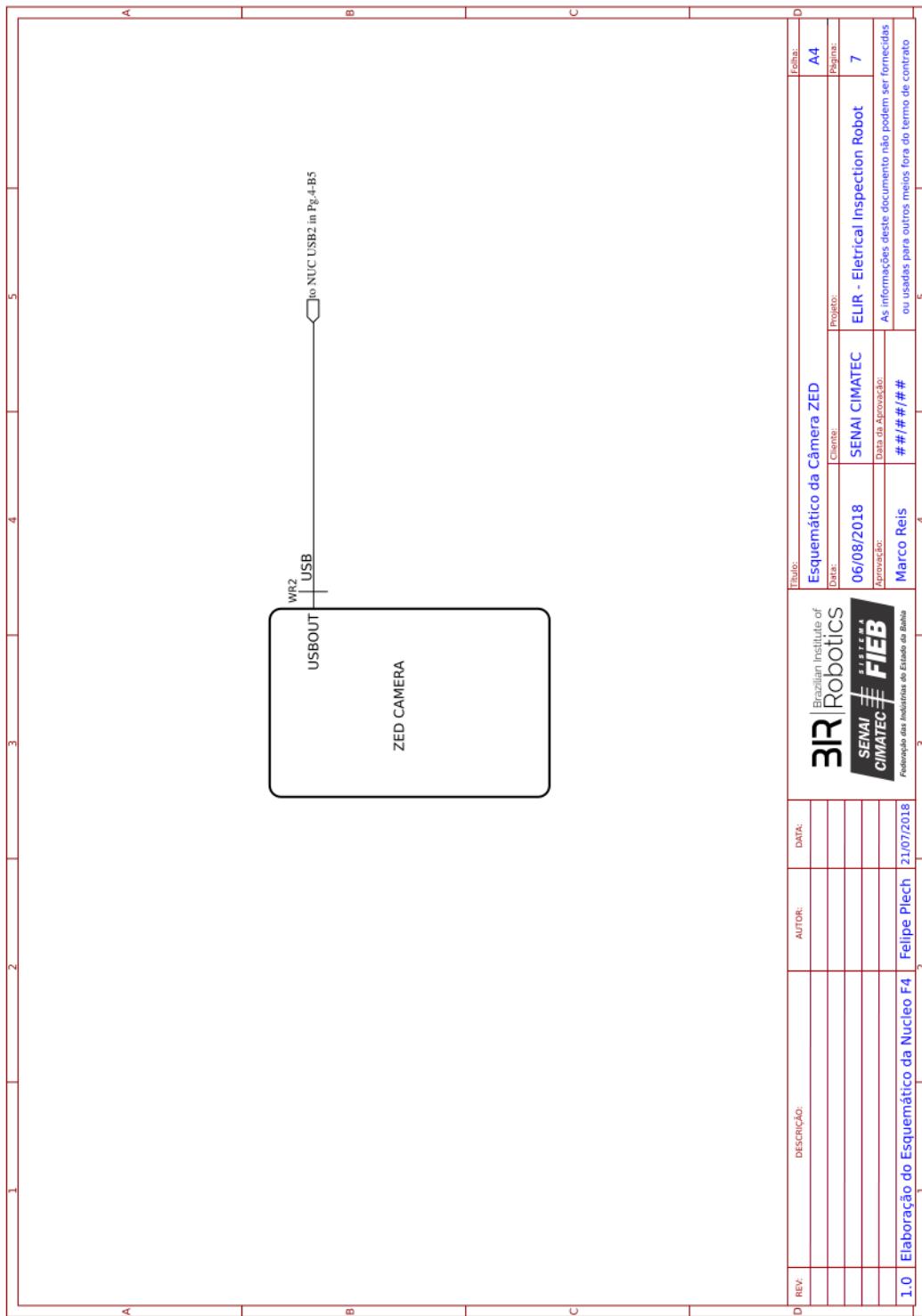


Figura C.6: Esquemático - STM32F401RE e FLIR LWIR Camera



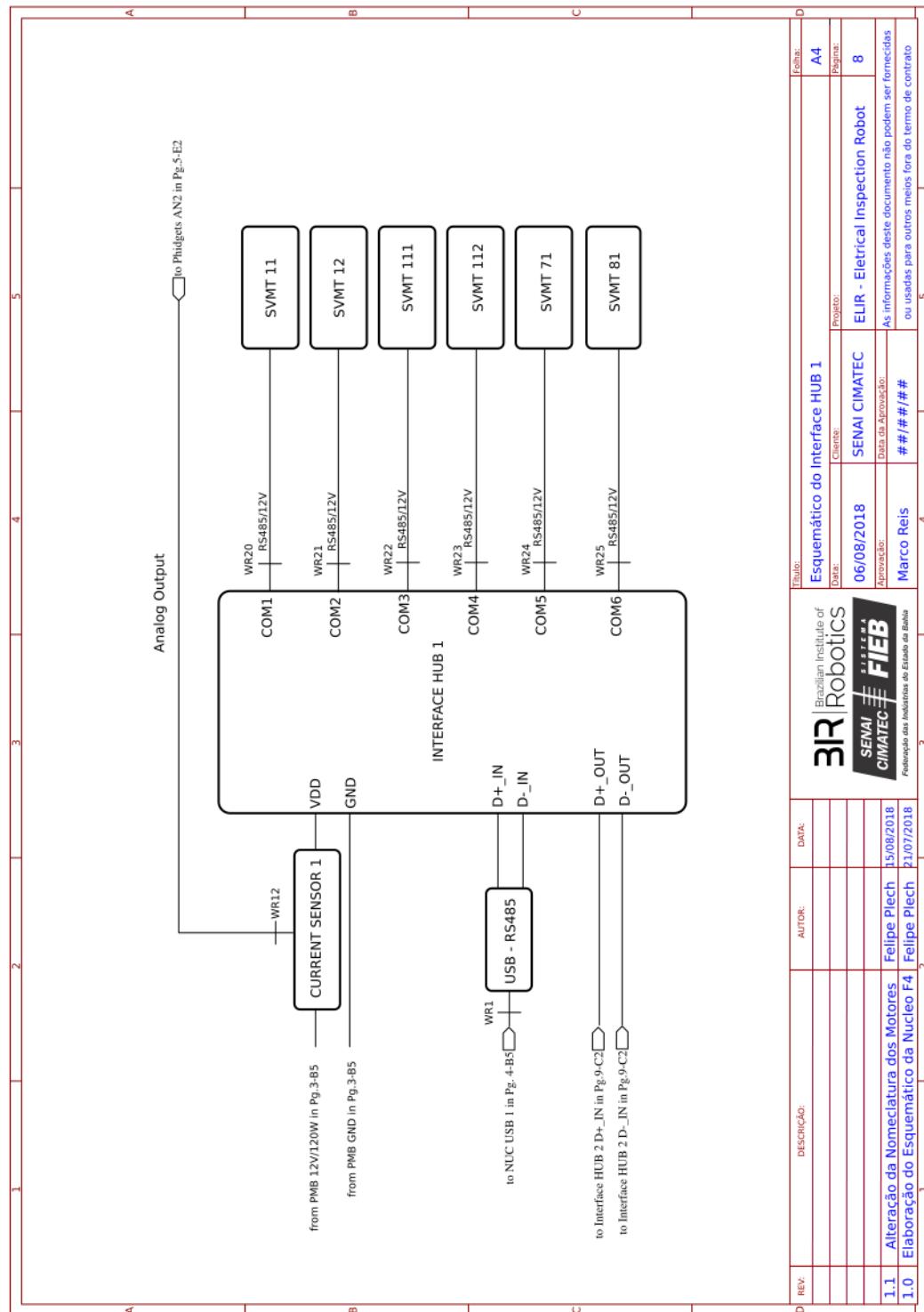


Figura C.8: Esquemático - HUB dos Atuadores 1

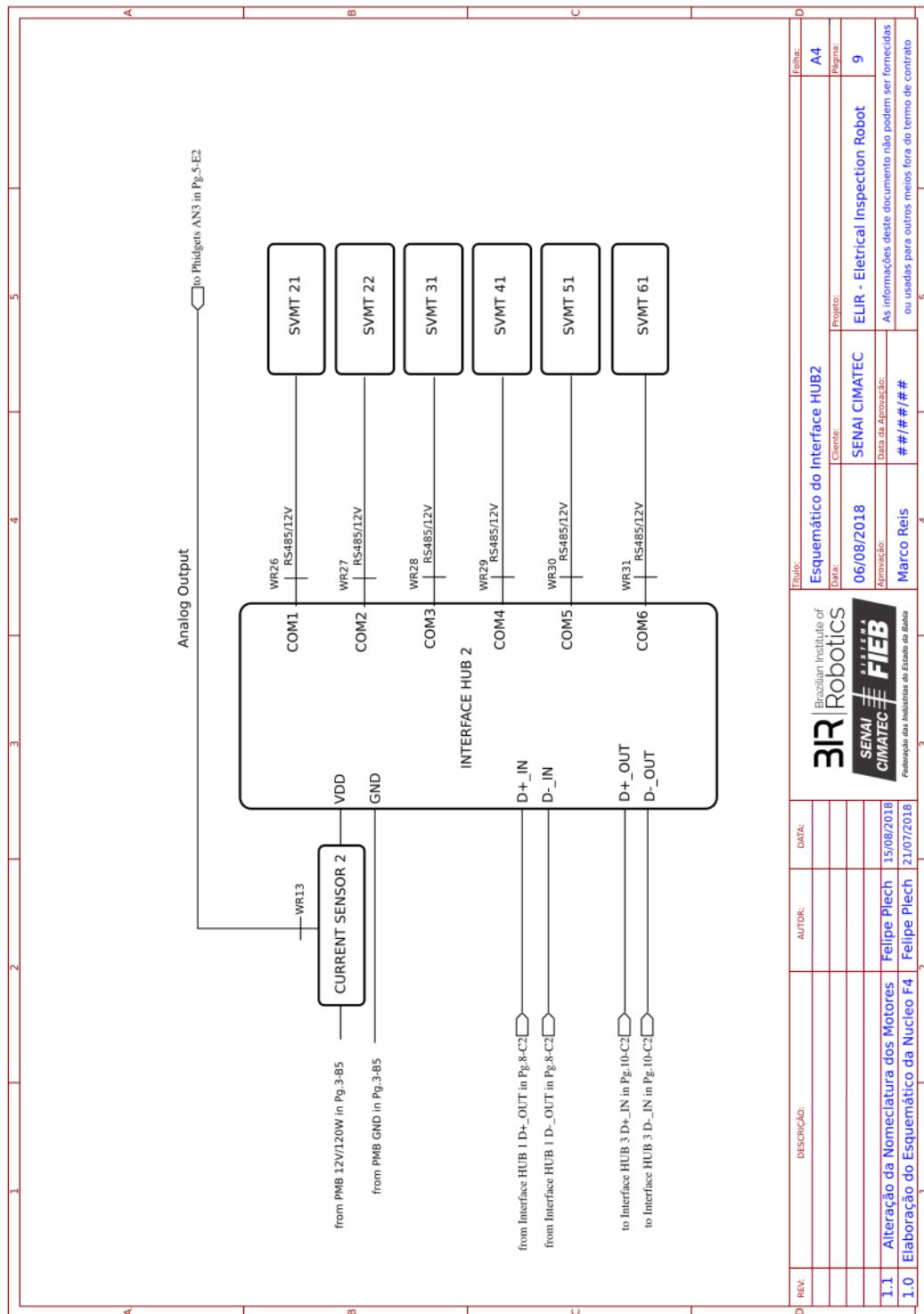


Figura C.9: Esquemático - HUB dos Atuadores 2

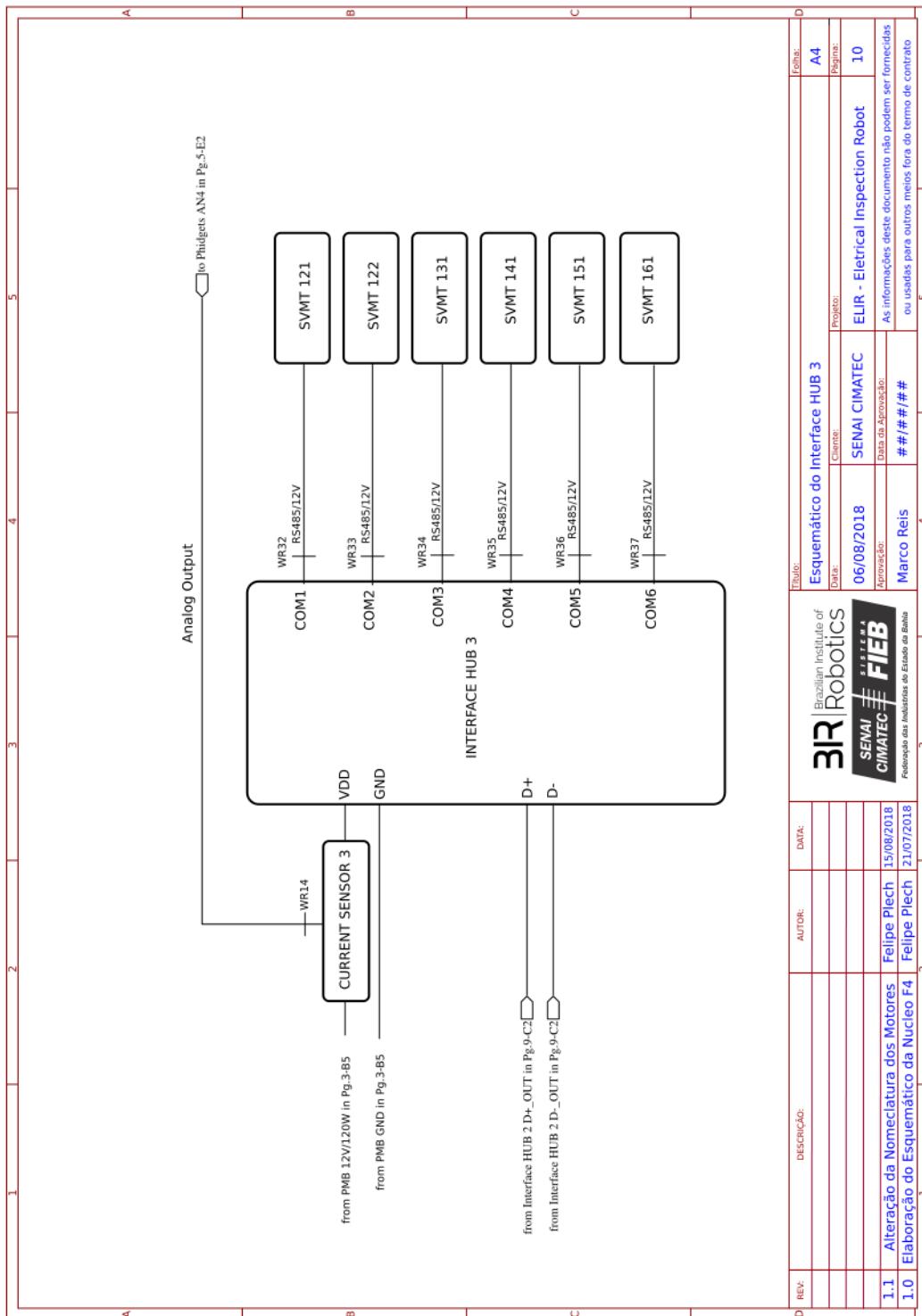


Figura C.10: Esquemático - HUB dos Atuadores 3

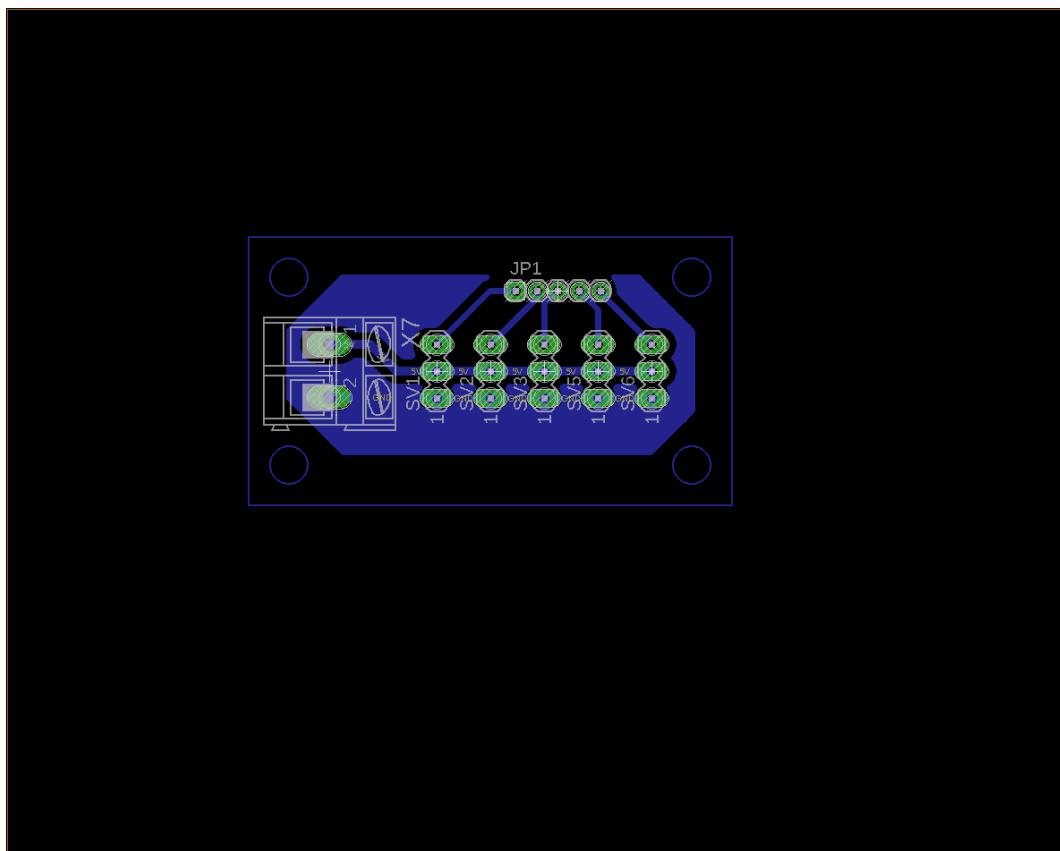


Figura C.11: Placa de Alimentação dos Sensores de Proximidade

## Wireframes

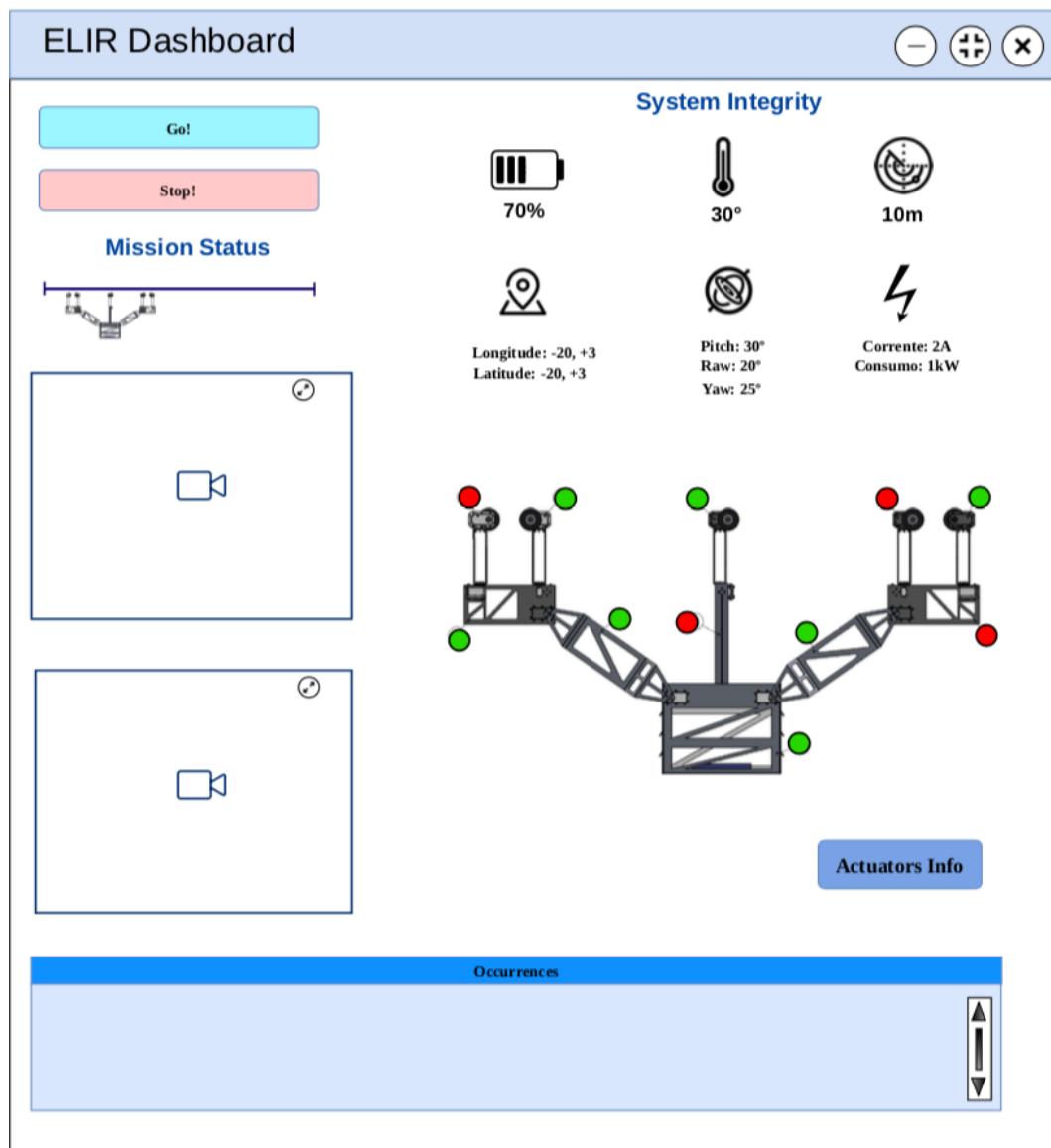


Figura D.1: Dashboard - Main page

Actuators Info			
	Current	Voltage	Temperature
 HUB1 3A	<b>SVMT 11</b>	2 A	2.5 A
	<b>SVMT 12</b>	5 A	2 A
	<b>SVMT 111</b>	4.3 A	1 A
	<b>SVMT 112</b>	2 A	3 A
	<b>SVMT 71</b>	1 A	15 A
	<b>SVMT 81</b>	4 A	6 A
 HUB2 3A	<b>SVMT 21</b>	2 A	2.5 A
	<b>SVMT 22</b>	5 A	2 A
	<b>SVMT 31</b>	4.3 A	1 A
	<b>SVMT 41</b>	2 A	3 A
	<b>SVMT 51</b>	1 A	15 A
	<b>SVMT 61</b>	4 A	6 A
 HUB3 3A	<b>SVMT 121</b>	2 A	2.5 A
	<b>SVMT 122</b>	5 A	2 A
	<b>SVMT 131</b>	4.3 A	1 A
	<b>SVMT 141</b>	2 A	3 A
	<b>SVMT 151</b>	1 A	15 A
	<b>SVMT 161</b>	4 A	6 A

Figura D.2: Dashboard - Actuators Info Page

---

## Logbook

---

---

## **Lista de componentes**

---



# **ELIR project - BILL OF MATERIAL**

\$3.60